c/o Micron Technology Italia Srl, via A. Pacinotti 7, 67051 Avezzano (AQ)
n. 12 del Registro delle Persone Giuridiche della Prefettura dell'Aquila
tel. 39-0863-423576 fax 39-0863 423638

INDICE

ALLEGATI

1. Localizzazione sullo stralcio catastale;
2. Localizzazione sullo stralcio P.R.G.;
3. Planimetria generale;
4. Vista prospettica generale;
5. Planimetria dell'impianto di depurazione e recupero delle acque;
6. Vista prospettica dell'impianto di depurazione e recupero delle acque;
7. Parametri urbanistici dell'impianto di depurazione e recupero delle acque;
8. Disposizione e codifica dei depositi dell'impianto di depurazione e recupero delle acque;
9. Volumetrie e profilo longitudinale dell'impianto di lagunaggio e fitodepurazione;
10. Vista prospettica dell'impianto di recupero degli scarti agroindustriali;
11. Planimetria dell'impianto di recupero degli scarti agroindustriali;
12. Parametri urbanistici dell'impianto di recupero degli scarti agroindustriali;
13. Disposizione e codifica dei depositi dell'impianto di recupero degli scarti agroindustriali;
14. Vista prospettica dell'impianto di recupero dei rifiuti speciali e produzione idrogeno;
15. Planimetria dell'impianto di recupero dei rifiuti speciali e produzione idrogeno;
16. Parametri urbanistici dell'impianto di recupero dei rifiuti speciali e produzione idrogeno;
17. Disposizione e codifica dei depositi dell'impianto di recupero dei rifiuti speciali e produzione idrogeno;
18. Vista prospettica della centrale a ciclo combinato;
19. Parametri urbanistici della centrale a ciclo combinato;
20. Punti di emissione in atmosfera;
21. Impianto di raccolta delle acque meteoriche;
22. Elenco delle particelle catastali;
23. Elenco dei rifiuti trattati.

INTRODUZIONE

Nel progetto sono identificati gli elementi critici del sistema infrastrutturale della Marsica e, per quanto riguarda i rifiuti industriali, dell'Abruzzo.

Sulla base delle problematiche evidenziate il progetto propone un *Sistema Integrato di Servizi Ecompatibili,* con l'obiettivo di risolvere i problemi di fornitura dei servizi ecologici nella Marsica e di mettere a disposizione di tutta la comunita' abruzzese un impianto in grado di eliminare il problema dei rifiuti speciali industriali.

L'ampio spettro di tecnologie disponibili nel *Sistema Integrato di Servizi Ecompatibili*, utilizzate in modo combinato, e' tale da poter offrire una flessibilita' di trattamento delle acque e dei rifiuti che non ha eguali in Italia.

Inoltre l'utilizzo per il recupero dei rifiuti di tecnologie all'avanguardia, non solo come efficienza produttiva ma soprattutto nella salvaguardia ambientale, permette la chiusura del ciclo dei rifiuti con una flessibilita' nelle opzioni attualmente non disponibile in altri impianti.

La possibilita' non solo di produrre energia, ma anche idrogeno dai rifiuti apre la possibilita' a linee di ricerca, come l'utilizzo della conversione diretta dell'energia mediante celle a combustibile, che, se fatte in collaborazione con le Universita' Abruzzesi, porterebbero la nostra struttura educativa all'avanguardia in un settore vitale come quello energetico.

A conferma di questa impostazione, il progetto preliminare prevede la realizzazione nel *Sistema Integrato di Servizi Ecompatibili* del Parco Didattico, in cui le tecnologie utilizzate saranno spiegate ai Cittadini in modo semplice e dal vivo, con l'obiettivo di eliminare le barriere culturali che li dividono dagli impianti preposti all'attenuazione delle effetti delle attivita' umane, produzione di rifiuti, energia ed acque reflue, sull'ambiente.

1. GENERALITA'

1.1 LA SITUAZIONE NEL COMPRENSORIO DELLA MARSICA

Nel Nucleo Industriale di Avezzano sono presenti alcune grandi aziende, Micron Technology Italia S.r.l., Cartiera Burgo S.p.A., Imerys Minerali S.p.A., FIAMM AUTOMOTIVE BATTERIES S.p.A. e SAES Advanced Technologies S.p.A. che competono sul mercato nazionale ed internazionale e numerose altre piccole realtà produttive.

1.1.1 Approvvigionamento di acqua

Le tre più grandi aziende insediate nel Nucleo Industriale di Avezzano, la Micron, la Cartiera Burgo e la FIAMM sono grandi consumatrici di acqua.

La Cartiera Burgo preleva dal canale del Fucino e da un pozzo 600 m^3/ora di acqua ad elevato carico batterico con conseguente necessità di pretrattamento prima dell'utilizzo in produzione, che alza il costo di approvvigionamento di questa indispensabile materia prima.

La FIAMM necessita di una qualità di acqua ancora migliore, poiche' nel suo processo produttivo ha bisogno di acqua distillata e conseguentemente si approvviggiona, per produrla, di circa 30 m^3/ora di acqua potabile dal Consorzio Acquedottistico Marsicano.

Anche la Micron, per produrre acqua ultrapura necessaria alla costruzione delle memorie DRAM e dei nuovi sensori di immagine, utilizza circa 270 m^3/ora di cui oltre 200 m^3/ora di acqua potabile fornita dal Consorzio Acquedottistico Marsicano.

Dalle portate richieste per l'approvviggionamento risulta evidente che il costo dell'acqua e' una voce significativa dei costi delle materie prime indispensabili a queste aziende.

1.1.2 Trattamento delle acque di scarico

E' evidente che tutta quest'acqua esce dal ciclo produttivo con inquinanti, che devono essere rimossi prima dello scarico nel canale consortile e, nel caso della Cartiera Burgo, nel canale del Fucino.

L'assenza di un depuratore consortile di acque industriali, in grado di trattare tutte le acque di scarico provenienti dalle aziende impone di rispettare i limiti di scarico piu' restrittivi, quelli di scarico in acque superficiali, stabiliti nella Tabella 3 dell'Allegato 5 della parte terza del D.Lgs. n.152 del 3 aprile 2006.

Di conseguenza tutte le aziende si sono dotate di un proprio impianto di trattamento delle acque di scarico, con conseguente aumento dei costi, non solo rispetto ai concorrenti dell'Estremo Oriente (che non hanno limiti) ma anche rispetto ad aziende di altri siti industriali, che, essendo dotati di impianti consortili, hanno limiti di scarico piu' alti ovvero quelli di scarico in rete fognaria.

Per dare un'idea dell'ordine di grandezza degli impianti di trattamento che le aziende hanno dovuto approntare riportiamo in estrema sintesi i dati piu' significativi:

- *Cartiera Burgo* : Trattamento chimico-fisico e trattamento biologico di 600 m^3/ora di acqua;
- *Micron* : Cinque tipi diversi di trattamenti chimico-fisico su un totale di 200 m^3/ora di acqua industriale e trattamento biologico di 4 m^3/ora di scarichi civili;
- FIAMM : Trattamento chimico-fisico di 30 m^3/ora di acque industriali.

1.1.3 Lo smaltimento dei rifiuti speciali

La Regione Abruzzo non e' dotata di impianti di trattamento dei rifiuti adeguati alle necessita' delle aziende del nucleo industriale di Avezzano. La maggior parte dei rifiuti speciali e' inviata per il trattamento fuori regione, specialmente nel Nord Italia con conseguenti elevati oneri di trasporto.

Inoltre la scarsita' degli impianti disponibili determina una sforzo organizzativo notevole per lo smaltimento dei rifiuti con conseguenti ripercussioni sui costi.

I principali quantitativi di rifiuti prodotti dalle aziende sono:

- Fanghi di cartiera (20.000 ton/anno) prodotti dalla Cartiera Burgo;
- Soluzioni acquose di lavaggio contenenti sostanze non pericolose (8.000 ton/anno), soluzioni acquose di lavaggio contenenti sostanze pericolose (1.300 ton/anno) e solventi organici non alogenati (500 ton/anno) prodotti dalla Micron;
- Fanghi da depuratori biologici della Marsica (700 ton/anno) e da depuratori industriali (2.000 ton/anno).

1.1.4 Lo smaltimento dei rifiuti urbani

Nel nucleo industriale di Avezzano e’ presente l’impianto di messa in riserva dell’impresa Casinelli, che raccoglie gli imballaggi e altre tipologie di rifiuti non pericolosi, provenienti dalla raccolta dei rifiuti delle attivita’ commerciali della Marsica.

Ad Aielli e’ stato appaltato l’impianto dell’ACIAM di selezione meccanica dei rifiuti solidi urbani e di compostaggio della frazione umida, avente capacita’ di 60.000 ton/anno,.

Nelle vicinanze del nucleo industriale di Avezzano e’ in fase di avviamento un altro impianto di compostaggio. Attualmente quasi tutte le 70.000 ton annue di R.S.U. prodotte dalla zona di L’Aquila e dalla Marsica sono smaltite in discarica.

1.1.5 Il depuratore biologico

Attualmente e’ in costruzione un Depuratore Biologico a servizio delle reti fognarie civili del Comune di Avezzano e del Nucleo Industriale di Avezzano, con capacita’ di trattamento di oltre 500 m^3/ora.

A nostro parere la mancanza di un’ adeguata vasca di equalizzazione in testa all’impianto rendera’ difficile la gestione, che sara’ in balia alle fluttuazioni di portata tipiche della produzione di acque di scarico civili (al mattino, a pranzo e la sera).

Inoltre nel Depuratore Biologico e’ presente una sezione di pre-trattamento delle acque industriali avente una capacita’ di circa 150 m^3/ora, che pero’ non e’ in grado di trattare adeguatamente le acque industriali provenienti dal Nucleo Industriale di Avezzano.

1.1.6 Aspettative delle aziende del nucleo industriale di Avezzano

Il miglioramento del sistema infrastrutturale della Marsica a servizio delle aziende produttive e’ una delle azioni che puo’ ridurre l’impatto ambientale delle attivita’ industriali presenti nel territorio e contribuire ad una riduzione dei costi tanto importante per aziende impegnate in una competizione su scala mondiale.

Le aziende del Nucleo Industriale di Avezzano hanno individuato le seguenti aspettative:

1. Trattamento delle acque di scarico delle aziende (aventi una portata totale di circa 920 m^3/ora) con recupero del 100% dell’acqua, in modo da ridurre sensibilmente il consumo di acqua potabile per uso industriale e l’impatto sulle risorse idriche del territorio;
2. Trattamento della maggior parte dei rifiuti prodotti, in modo da annullare il problema dello smaltimento dei rifiuti, sia in termini di costi che organizzativi.

L’attivita’ produttiva delle aziende e’ a ciclo continuo e richiede elevatissimi standard qualitativi delle materie prime ed efficienza degli impianti ad essa asserviti, rispetto agli altri settori industriali. I servizi offerti dal sistema integrato dovranno garantire per 24 ore al giorno per 365 giorni/anno:

1. continuita’ del trattamento delle acque e delle altre attivita’ collaterali;
2. affidabilita’ della fornitura dell’acqua recuperata sia in termini di portata (920 m^3/ora) che di qualita’ (per 320 m^3/ora di acqua la qualita’ dovra’ essere almeno comparabile all’acqua potabile);
3. prezzi competitivi con quelli di mercato.

La continuita’ e l’affidabilita’ del servizio (punti 1 e 2) sono ritenute indispensabili ed ottenibili solo prevedendo il presidio del suddetto impianto al fine di garantire il coordinamento di eventuali manovre operative con tutti i possibili utenti.

1.2 LA GESTIONE DEI RIFIUTI IN ABRUZZO

Per quanto riguarda i rifiuti speciali, la competenza dello smaltimento è in capo ai produttori, ma rimane all'Ente Pubblico la disciplina tali attività in quanto di pubblico interesse[1] secondo i seguenti principi:

- promozione di sistemi tendenti a ridurre la produzione e la pericolosità dei rifiuti;
- promozione di sistemi tendenti ad intercettare, a monte del conferimento, i materiali recuperabili dai rifiuti;
- assicurare prioritariamente il trattamento e lo smaltimento di rifiuti prodotti in ambito regionale fatta salva l'opportunità di prevedere, per particolari tipologie di rifiuti, soluzioni di recupero e smaltimento a livello sovraregionale (conseguimento di scala dimensionale);
- provvedere allo smaltimento dei rifiuti in luoghi prossimi a quelli di produzione con soluzioni tecnico-organizzative mirate alle diverse caratteristiche del tessuto produttivo e dei rifiuti;
- promozione di un sistema di centri di raccolta e stoccaggio provvisorio di rifiuti (per piccole e medie imprese) così da consentire l'ottimizzazione della gestione dei piccoli quantitativi di rifiuti;
- conferimento in discarica di rifiuti derivanti da processi di inertizzazione o recupero così come individuati dalle norme tecniche attuative del D.Lgs 22/97;
- limitazione dello smaltimento in discarica dei rifiuti assimilabili agli urbani, in ragione delle elevate potenzialità di recupero;
- promuovere e favorire, per quanto tecnicamente possibile, una integrazione tra la gestione dei rifiuti urbani e quella dei rifiuti speciali in modo da consentire il conseguimento di efficaci e vantaggiose economie di scala;
- garantire il corretto smaltimento di rifiuti derivanti da aree regionali contaminate così come individuate nell'aggiornamento del Piano Regionale delle bonifica delle aree inquinate.

1.2.1 La produzione dei rifiuti speciali

Nel 2004 in Abruzzo sono stati prodotte 1.205.299 tonnellate di rifiuti speciali, di cui 1.118.372 tonnellate (93% del totale) costituite da rifiuti speciali non pericolosi e 83.961 tonnellate (7% del totale) da riifuti speciali pericolosi.

La ripartizione a livello provinciale della produzione dei rifiuti speciali e i principali rifiuti speciali prodotti in regione sono riportati nella tre seguenti tabelle.

Provincia	**Quantità prodotta** (ton/anno)
Chieti	500.327
Teramo	352.003
L'Aquila	215.104
Pescara	137.866
Totale	1.205.299

Tabella n.1 – Produzione dei rifuti speciali in Abruzzo nel 2004[2]

[1] Fonte : *Piano Triennale di tutela e risanamento ambientale 2006-2008*, pag. 84

[2] Fonte : *Stato di fatto del sistema di gestione dei rifiuti speciali in Abruzzo*, Regione Abruzzo, 24 novembre 2006

Codice	Descrizione	Quantita' (ton)
19.07.03	Percolato di discarica	89168
01.04.12	Sterili ed altri residui del lavaggio e della pulitura dei minerali	80968
19.08.05	Fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane	59332
17.03.02	Miscele bituminose	58176
12.01.02	Polveri e particolato di materiali ferrosi	56742
17.04.55	Ferro e acciaio	55369
17.09.04	Rifiuti misti dell'attivita' di costruzione e demolizione	49523
20.01.02	Vetro	35927
15.01.01	Imballaggi in carta e cartone	35895
03.03.11	Fanghi prodotti dal trattamento in loco degli effluenti	34013
03.01.05	Segatura, trucioli, residui di taglio,..	33859
19.08.14	Fanghi prodotti da altri trattamenti delle acque reflue industriali	30178
Totale		**619150**

Tabella n.2 – I principali rifiuti speciali non pericolosi prodotti in Abruzzo[3] nel 2004

Codice	Descrizione	Quantita' (ton)
16.06.01	Batterie al piombo	12290
13.08.02	Altre emulsioni	10052
19.08.13	Fanghi contenenti sostanze pericolose	5458
12.01.09	Emulsioni e soluzioni per macchinari	4894
16.01.04	Veicoli fuori uso	4867
11.01.05	Acidi di decapaggio	4502
18.01.03	Rifiuti sanitari	3526
17.06.05	Materiali da costruzione contenenti amianto	3363
13.02.04	Scari di olio minerali oer motori,.. Clorurati	2671
11.01.11	Soluzioni acquose di lavaggio contenenti sostanze pericolose	2435
12.03.01	Soluzioni acquose di lavaggio	1908
11.01.07	Basi di decapaggio	1613
17.02.04	Vetro, plastica, legno contenenti sostanze pericolose	1610
Totale		**59189**

Tabella n.3 – I principali rifiuti pericolosi prodotti in Abruzzo nel 2004

[3] Fonte : *Stato di fatto del sistema di gestione dei rifiuti speciali in Abruzzo*, Regione Abruzzo, 24 novembre 2006

Nella tabella seguente sono riportate le quantita' di rifiuti prodotte nel 2004 in provincia di L'Aquila. Gli impianti presenti sul territorio provinciale hanno recuperato 89.276 tonnellate e smaltito 24.532 tonnellate (di cui 23037 tonnellate in discarica).

Categoria	Descrizione	Quantita' (ton)
17	Rifiuti di costruzione e demolizioni	41839
19	Rifiuti da impianti di trattamento acque reflue	35599
03	Rifiuti da lavorazione del legno	28330
15	Imballaggi, stracci, materiali filtranti	22467
12	Rifiuti da lavorazione e trattamento superficiale di metalli e plastica	20956
16	Rifiuti non specificati altrimenti nel catalogo	13146
01	Rifiuti da prospezione, estrazione di minerali ..	12650
20	Rifiuti solidi urbani ed assimilabili	10485
02	Rifiuti da produzione, trattamento e preparazione di alimenti ina gricoltura	5974
10	Rifiuti inorganici provenienti da processi termici	5770
06	Rifiuti da processi chimici inorganici	5326
07	Rifiuti da processi chimici organici	4244
11	Rifiuti inorganici contenenti metalli	3391
13	Oli esauriti tranne gli oli combustibili	1774
14	Rifiuti di sostanze organiche utilizzate come solventi	973
18	Rifiuti sanitari	948
08	Rifiuti da produzione, formulazione.. di sigillanti, inchiostri	897
09	Rifiuti dell'industria fotografica	151
04	Rifiuti della produzione conciaria e tessile	40
05	Rifiuto da raffinazione petrolio…	15
ND		129
Totale		**215103**

Tabella n.4 – Rifiuti speciali prodotti in provincia di L'Aquila nel 2004

Anche in Abruzzo l'utilizzo della discarica per lo smaltimento dei rifiuti speciali non pericolosi e' stato considerevole, come mostrato nella tabella seguente.

Operazioni di smaltimento			**Rifiuti non pericolosi**	**Rifiuti pericolosi**
D1	Smaltimento in discarica per rifiuti solidi urbani	Discarica per rifiuti speciali	84528	341
	Smaltimento in discarica	Discarica per rifiuti solidi urbani	44751	0
D8	Trattamento biologico che da origine a composti o a miscugli che sono eliminati secondo uno dei procedimenti elencati nei punti da D1 a D12		22166	0
D9	Trattamento chimico-fisico che da origine a composti o a miscugli che sono eliminati secondo uno dei procedimenti elencati nei punti da D1 a D13	Trattamento chimico fisico biologico	27475	44839
		Da autodemolizione	0	24878
		Totale	*27475*	*69717*
D10	Incenerimento a terra		944	1519
D14	Ricondizionamento preliminare prima delle operazioni di cui ai punti da D1 a D13	Da operazioni di recupero	1114	0
D15	Deposito preliminare prima delle operazioni di cui ai punti da D1 a D14	Dal trattamento chimico fisico biologico	3186	377
		Da autodemolizione	175	119
		Da operazioni di recupero	24319	4191
		Totale	*27680*	*4687*
Totale			**208658**	**76264**

Tabella n.5 – Modalita’ di smaltimento dei rifiuti speciali nel 2003 in Abruzzo

1.2.2 Analisi dei flussi dei rifiuti speciali

L’analisi del flusso dei rifiuti in provincia di L’Aquila mostra in modo chiaro l’insufficiente capacita’ impiantistica di trattamento dei rifiuti presente in questa provincia, come e’ evidente dalla tabella e dalla figura seguente.

Direzione	**Uscita**	**Ingresso**	**Differenza**
Teramo	6700	4900	-1800
Pescara	6500	13100	6600
Chieti	23600	2900	-20700
Fuori regione	113600	59300	-54300
Totale	**150400**	**80200**	**-70200**

Tabella n.6 – Deficit di capacita’ impiantistica in provincia di L’Aquila

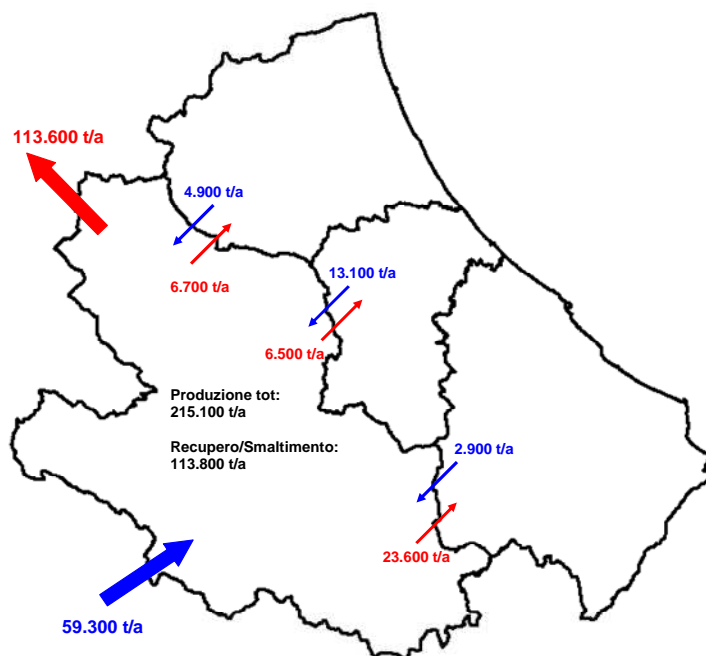



Figura n.1 – Flussi dei rifiuti speciali in provincia di L'Aquila nel 2004[4]

L'insufficienza di capacita' impiantistica non e' solo della provincia di L'Aquila, ma di tutto l'Abruzzo, visto che il flusso dei rifiuti speciali ha un saldo negativo nel 2004 di ben 287.068 tonnellate/anno.

Categoria	Descrizione	Import-export
01	Rifiuti da prospezione, estrazione di minerali ..	-4582
02	Rifiuti da produzione, trattamento e preparazione di alimenti ina gricoltura	-10945
03	Rifiuti da lavorazione del legno	-32983
04	Rifiuti della produzione conciaria e tessile	851
05	Rifiuto da raffinazione petrolio…	-4142
06	Rifiuti da processi chimici inorganici	-4635
07	Rifiuti da processi chimici organici	12385
08	Rifiuti da produzione, formulazione.. di sigillanti, inchiostri	11002
09	Rifiuti dell'industria fotografica	1605
10	Rifiuti inorganici provenienti da processi termici	14249
11	Rifiuti inorganici contenenti metalli	-9338
12	Rifiuti da lavorazione e trattamento superficiale di metalli e plastica	-33386
13	Oli esauriti tranne gli oli combustibili	7297
14	Rifiuti di sostanze organiche utilizzate come solventi	1800
15	Imballaggi, stracci, materiali filtranti	-20562
16	Rifiuti non specificati altrimenti nel catalogo	-5953
17	Rifiuti di costruzione e demolizioni	-10595
18	Rifiuti sanitari	-1646
19	Rifiuti da impianti di trattamento acque reflue	-150378
20	Rifiuti solidi urbani ed assimilabili	-47086
ND		-28
Totale		**-287068**

Tabella n.7 – Flusso dei rifiuti speciali in Abruzzo

[4] Fonte : *Stato di fatto del sistema di gestione dei rifiuti speciali in Abruzzo*, Regione Abruzzo, 24 novembre 2006

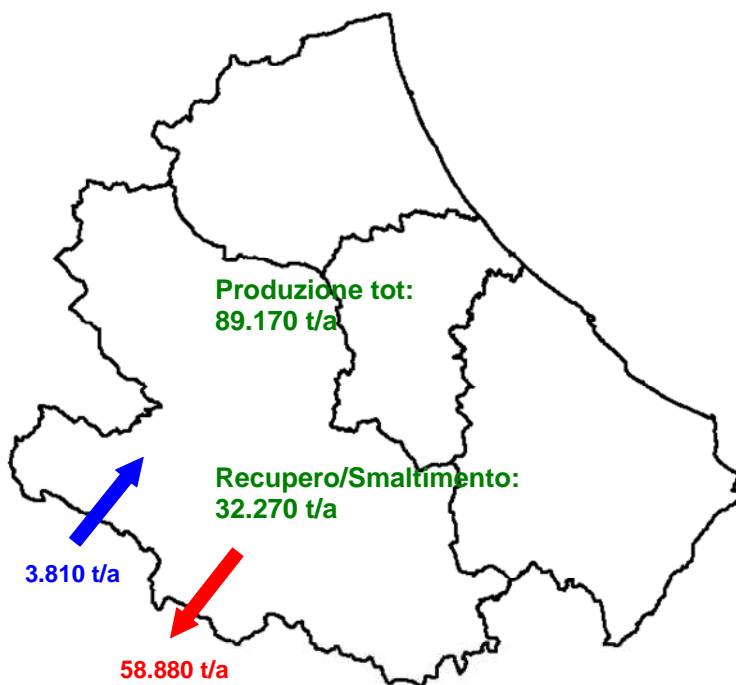



Figura n.2 – Flusso di importazione/esportazione del percolato di discarica

Il principale contributo al deficit e' dato dai rifiuti prodotti dagli impianti di trattamento/smaltimento dei rifiuti, ben 150.358 tonnellate/anno, di cui 58.000 tonnellate/anno e' percolato di discarica.

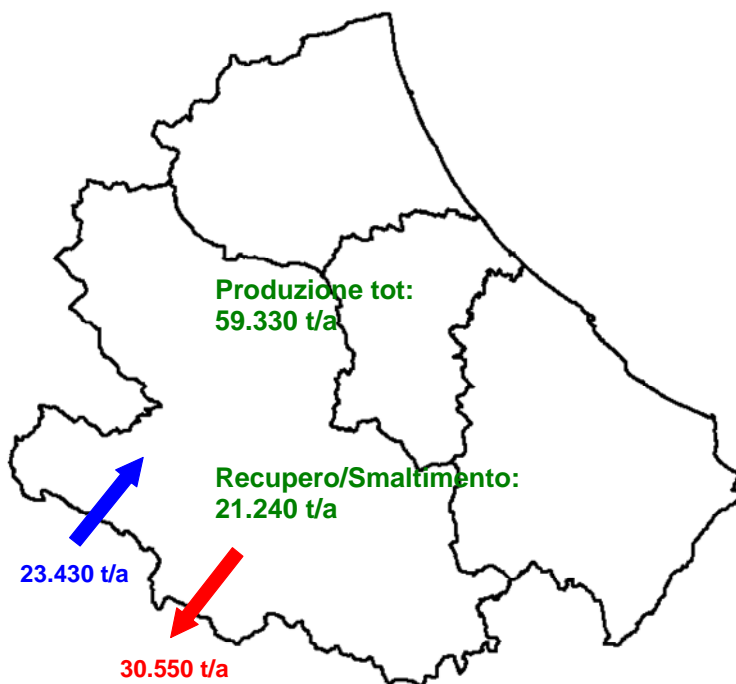



Figura n.3 – Flussi di importazione/esportazione dei fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue

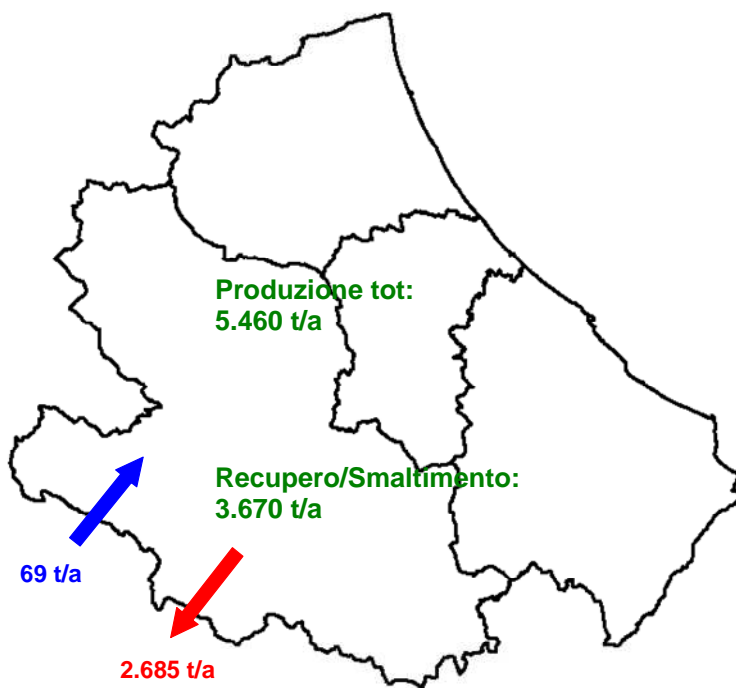



Figura n.4 - Flussi di importazione/esportazione dei fanghi contenenti sostanze pericolose

Nei due diagrammi seguenti e' visualizzato il deficit impiantistico per tipologia di trattamento dei rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi.

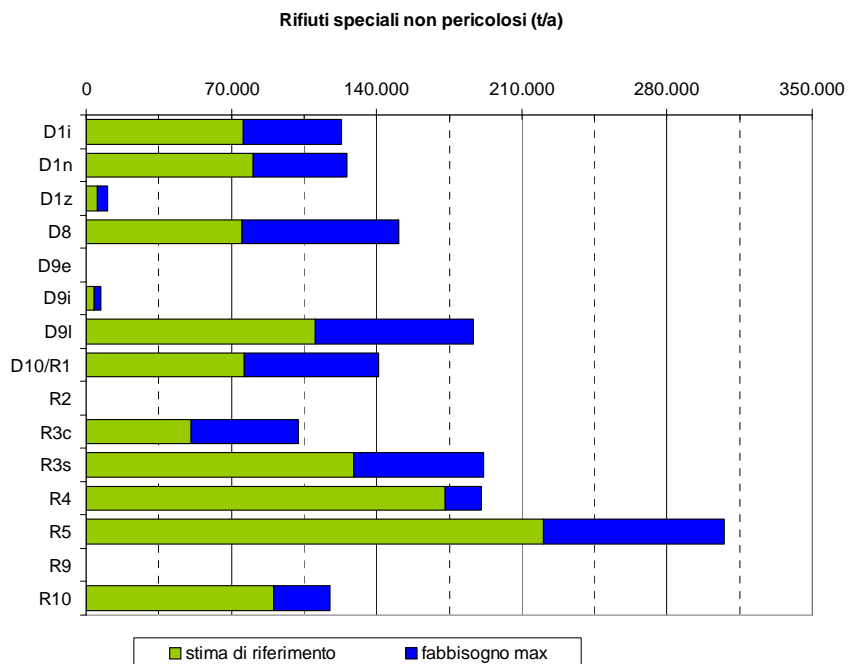



Figura n.5 – Fabbisogni di recupero/smaltimento di rifiuti speciali non pericolosi

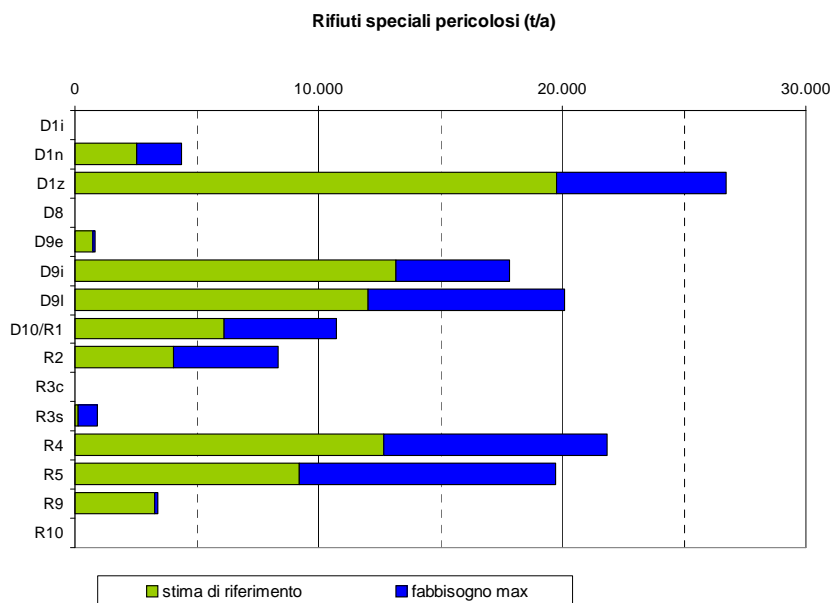



Figura n.6 – Fabbisogni di recupero/smaltimento di rifiuti speciali pericolosi[5]

1.3 IL COMPARTO ENERGETICO

Per consentire il confronto e l'aggregazione di dati non omogenei[6] nella relazione si utilizzera' come unita' di misura il KTEP (*migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio*) e di cui il 41,8% gli equivalenti energetici di alcuni prodotti combustibili[7].

Nel 2005 il consumo di energia e' stato di 3.703,65 KTEP, ripartito per fonte e per settore secondo le percentuali riportate nei due diagrammi seguenti.

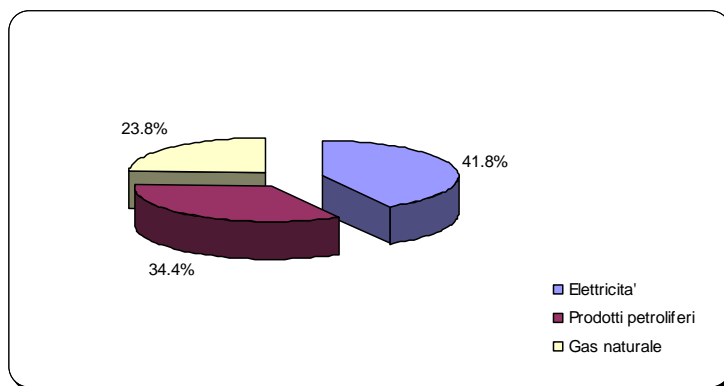



Figura n.7 – Fonti di energia utilizzate in Abruzzo nel 2005

[5] Fonte : *Stato di fatto del sistema di gestione dei rifiuti speciali in Abruzzo*, Regione Abruzzo, 24 novembre 2006

[6] Fonte : *Piano energetico della Regione Abruzzo*

[7] Fattori di conversione indicati nella Circolare n.129/F del 2 marzo 1992 del Ministero dell'Industria Commercio ed Artigianato

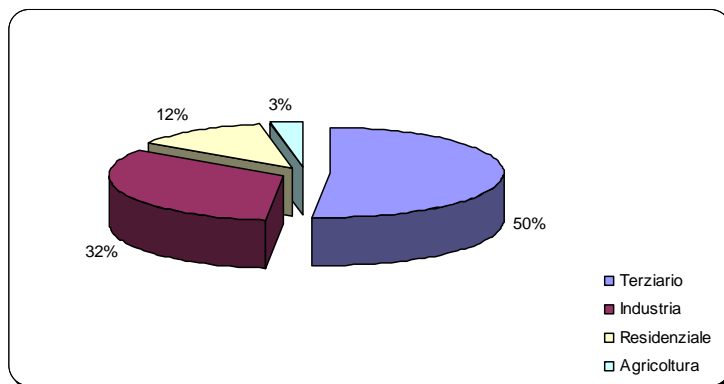



Figura n.8 – Consumi di energia elettrica per settore nel 2005

Nel 2005 l'Abruzzo ha prodotto 18,02 KTEP di gas naturale, 2082,36 GWh di energia elettrica da fonti rinnovabili e 44 GWh da fonti convenzionali, importando le quantita' di energia riportate nella tabella seguente.

Importazione	**Quantita'**	
Prodotti petroliferi	1275,42	KTEP
Gas naturale	1430,06	KTEP
Energia elettrica	1403	GWh

Tabella n.8 – Quantita' di energia importate nel 2005

L'energia elettrica consumata in Abruzzo nel 2005 e' stata di 3.246,43 GWh, equivalenti a 744,38 KTEP, di cui ben il 20,8% di importazione.

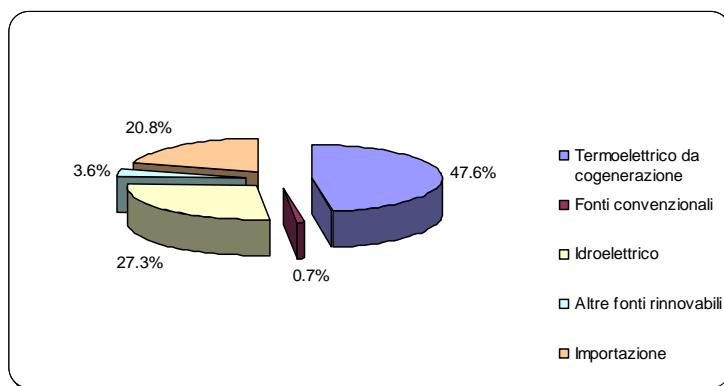



Figura n.9 – Consumi di energia elettrica nel 2005

La produzione termoelettrica, utilizzante come combustibile il gas naturale, e' quasi tutta di tipo cogenerativo, e copre il 47,6% del fabbisogno regionale.

Centrale	Energia elettrica prodotta (GWh)	
	GWh	KTEP
Edison H	1003.0	230.7
Termica Celano	966.9	222.4
Burgo	482.4	111.0
Serene	369.8	85.1
Pilkington	230.0	52.9
Micron	138.2	31.8
Zecca	44.0	10.1
Sevel	12.0	2.8
Totale	**3246.44**	**746.68**

Tabella n.9 – Produzione termoelettrica nel 2005

I residui agricoli prodotti in Abruzzo hanno un contenuto energetico di 80 KTEP, equivalenti a 350 GWh prodotti da una centrale da 45 MW.

Scarto secco	L'Aquila	Abruzzo
Frumento intero	4850.4	19179.1
Frumento duro	690.2	28229.5
Orzo	2095.3	14630.8
Avena	219	1522.8
Mais	554.7	14941.1
Vite	1148.8	32284.3
Olivo	802.3	29763.9
Pesco	23.9	4812.7
Melo	38.7	635.2
Mandorlo	373.6	436.1
Nocciolo	26.5	256.1
Totale	**10831.3**	**146890.4**

Tabella n.10 – Produzione di residui agricoli

Attualmente i mezzi e i motivi per trasformare i residui agroforestali in energia pulita e conveniente ci sono già, mentre manca un quadro normativo e una politica a sostegno dell'innovazione e della formazione degli imprenditori agricoli.

Le ultime iniziative legislative sui biocarburanti sono l'occasione per una nuova "*missione*" per l'agricoltura italiana: non solo creare ricchezza nella produzione di alimenti di qualità, ma anche produrre e vendere energia pulita.

Alla luce dei nuovi indirizzi della Politica Agricola Comunitaria, si registra un rinnovato interesse per tutti quei processi di trasformazione – combustione, pirolisi, ecc. – in grado di ottenere energia in forma diretta od indiretta mediante l'utilizzo, quale materia prima, di produzioni agricole.

In questo senso da un lato l'utilizzo di prodotti e sottoprodotti delle lavorazioni agricole – materiale legnoso da tagli forestali e potature, paglia e reflui zootecnici, ecc. – può garantire una parziale o totale autosufficienza energetica dell'azienda agricola, assicurando il combustibile da riscaldamento per usi produttivi, abitativi e domestici; dall'altro lato il ricorso a fonti energetiche alternative può avvenire tramite la produzione su larga scala ed il successivo collocamento sul mercato di colture ad hoc, da utilizzare come materia prima all'interno di un processo di trasformazione industriale per produrre energia rinnovabile.

Il *Piano di Sviluppo Rurale* (PSR) potrebbe essere lo strumento per destinare risorse per i grandi progetti (impianti di produzione di bioetanolo e/o biodiesel, centrali di cogenerazione, ecc), previa verifica degli effettivi sbocchi di mercato per le produzioni agroenergetiche all'interno di un quadro, oggi assente, che definisca le politiche regionali un materia di energia e le tipologie di produzione (biomasse, biocarburanti, ecc.) su cui puntare, nel rispetto del territorio e delle comunità locali.

L'agroenergia è "*energia rinnovabile*" (inesauribile, come quella solare o eolica), prodotta con materiali di origine agricola, organici e vegetali. I prodotti principali dell'agroenergia sono:

- *Le biomasse:* l'energia deriva dalla combustione di legna, prodotti e sottoprodotti vegetali, residui agricoli;
- *Il biogas*: energia dalla fermentazione batterica naturale di residui organici provenienti da prodotti e sottoprodotti vegetali e dal letame degli allevamenti suini e bovini;
- *Il biodiesel*: è un combustibile di origine vegetale (da soia, girasole e colza), ecocompatibile.

Attualmente in Lombardia le coltivazioni di biomasse sono ormai diffuse tra gli agricoltori e questa regione è all'avanguardia in Italia con 3 impianti per la produzione di biogas, attività che le aziende hanno affiancato a quella tradizionale.

1.4 IL SISTEMA INTEGRATO

Per poter rispondere alle aspettative delle aziende, degli enti pubblici e del territorio, si e' pensato alla realizzazione di un impianto consortile che per semplicita' chiameremo "*Sistema integrato*", che sia in grado di recuperare l'acqua necessaria alle aziende del Nucleo Industriale di Avezzano, di trattare i rifiuti prodotti dalle aziende e da altre realta' abruzzesi e di chiudere il ciclo del recupero dei rifiuti speciali industriali, minimizzando i costi di gestione e conseguentemente quelli del servizio offerto. Le acque civili delle aziende del Nucleo Industriale di Avezzano andranno, tramite la rete fognaria consortile, nel nuovo Depuratore Biologico.

La scelta delle varie tecnologie utilizzate nel *Sistema Integrato* e' stata fatta avendo come principio generale che ***i materiali in ingresso (acqua di scarico e rifiuti) non sono un onere ma una risorsa***. Normalmente un'azienda utilizza materie prime, produce le merci e smaltisce i materiali di scarto. Il Sistema Integrato utilizzera' cio' che comunemente e' considerato uno scarto come materia prima per produrre sostanze chimiche, biocarburanti ed energia elettrica.

1.4.1 Individuazione del sito

Si prevede di realizzare il *Sistema Integrato* nel Comune di Luco dei Marsi, al confine con il Comune di Avezzano, a breve distanza dal Nucleo Industriale. L'area di 39,5 ha é riportata nei fogli 1 e 2 allegati al progetto. I vantaggi di questa localizzazione sono numerosi:

- Vicinanza della Cartiera Burgo che minimizza i consumi energetici di distribuzione dell'acqua recuperata[8];
- Assenza di insediamenti civili nelle vicinanze;
- Ottima accessibilita' per i mezzi di trasporto.

1.4.2 Capacita' produttiva del Sistema Integrato

Il *Sistema Integrato* sara' costituito da quattro moduli (*depurazione e recupero delle acque, recupero dei rifiuti agroindustriali, recupero dei rifiuti industriali con produzione di idrogeno, produzione di energia elettrica e calore*), la cui planimetria e vista prospettica sono riportati nei fogli 3 e 4 allegati.

Il *Sistema Integrato* effettuerá, a ciclo continuo:

[8] *La Cartiera Burgo ha bisogno di 600 m^3/ora di acqua e quindi rappresenta quantitativamente il maggior utente del Sistema Integrato.*

c/o Micron Technology Italia Srl, via A. Pacinotti 7, 67051 Avezzano (AQ)
n. 12 del Registro delle Persone Giuridiche della Prefettura dell'Aquila
tel. 39-0863-423576 fax 39-0863 423638

- Il trattamento delle acque di scarico delle aziende (aventi una portata totale di circa 920 m^3/ora) con recupero del 100% dell'acqua. Le tipologie di acque industriali trattate sono riportate nella seguente tabella.

Tipo di acqua	**Portata** (m^3/ora)
Acqua acida	80
Acqua debolmente acida	225
Acqua basica	5
Soluzioni saline	5
Acque a contenuto organico	5
Acque debolmente organiche	600
Totale	**920**

Tabella n.11 – Capacita di trattamento del Sistema Integrato

L'impianto essendo modulare, potrá essere in seguito ampliato fino a trattare 700 m^3/ora di acqua debolmente acida. Inoltre l'impianto sara' in grado di trattare rifiuti liquidi e fanghi industriali, aventi la stessa tipologia di composizione chimica delle acque di scarico provenienti dal Nucleo Industriale di Avezzano e dei fanghi prodotti dall'impianto di depurazione re cupero del Sistema Integrato.

Tipo di rifiuto	**Quantita'** (ton/anno)
Percolato di discarica	35.000
Acqua debolmente acida	10.000
Acqua basica	10.000
Soluzioni saline	5.000
Acque a contenuto organico	10.000
Acque debolmente organiche	10.000
Fanghi industriali non pericolosi	10.000
Totale	**90.000**

Tabella n.12 – Quantita' di rifiuti liquidi e fangosi recuperati dal Sistema Integrato

- Il recupero di 50.000 ton/anno di scarti agroindustriali provenienti dalla Marsica;
- La Produzione di energia elettrica da biogas[9], gas naturale ed idrogeno[10];
- La trasformazione in idrogeno di 180.000 ton/anno di rifiuti industriali speciali industriali.

Riepilogando, i servizi offerti dal sistema integrato garantiranno per 24 ore al giorno per 365 giorni/anno:

- la fornitura di acqua detta di "*prima qualita'* " (320 m^3/ora) di caratteristiche chimiche e microbiologiche simili a quelle dell'acqua potabile;
- la fornitura di acqua di "*seconda qualita'* " (600 m^3/ora) di caratteristiche compatibili con il ciclo produttivo della cartiera;
- una potenza installata di circa 110 MW_e di energia elettrica.

La figura seguente mostra l'interazione fra i vari moduli del Sistema Integrato.

[9] Prodotto dalla digestione anaerobica dei rifiuti organici.
[10] Prodotto dalla dissociazione molecolare dei rifiuti.

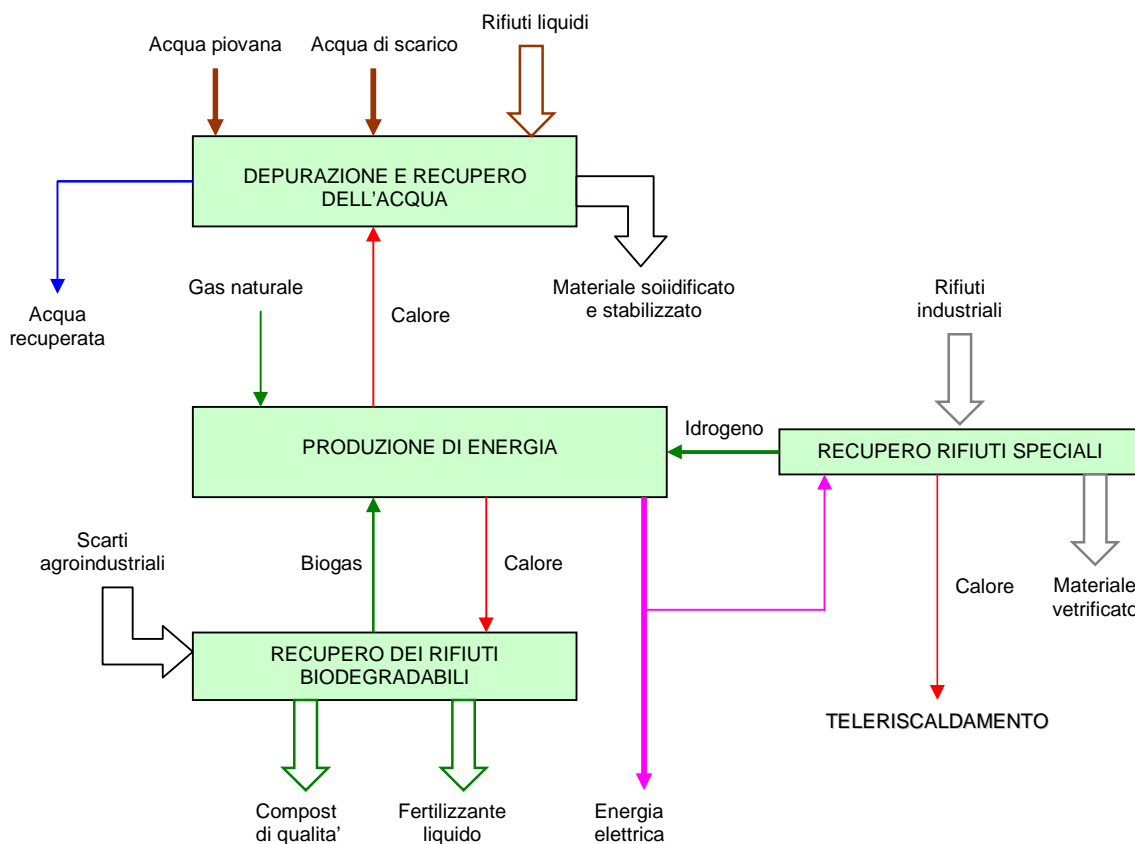



Figura n.10 – Flussi di massa e di energia fra i vari moduli del Sistema Integrato

Il Sistema Integrato produrrá anche 120.000 MWh di vapore saturo a 2 bar e potrá essere collegato al sistema agroindustriale del Fucino, in due modi:

- Fornendo calore per le serre (per un'estensione massima di 50 ettari);
- Fornendo frigorie per i magazzini frigoriferi.

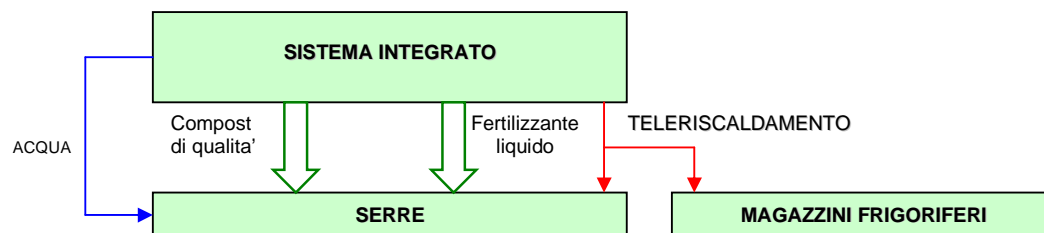



Figura 11 – Sinergia con le attivita' agroindustriali

1.4.3 Parco Didattico

Il progetto prevede la realizzazione di un percorso didattico all'interno del Sistema Integrato utilizzando un sentiero già tracciato ed a disposizione del pubblico nei periodi di apertura del Parco.

L'ubicazione del percorso didattico è stata decisa tenendo conto della fisionomia delle componenti vegetazionali presenti. in tre zone diverse del impianto di recupero dell'acqua. Il primo tratto del percorso si snoderà lungo il canale di fitodepurazione per circa 1.000 metri fino alla prima vasca. Il secondo tratto si snodera' lungo le vasche di fitodepurazione e lagunaggio, mentre il terzo tratto interessera' il laghetto piu' grande.

Il percorso sara' attrezzato con una cartellonistica interattiva concepita in modo da non fornire solo informazioni sugli aspetti salienti presenti lungo il percorso, ma da coinvolgere il visitatore in una serie di semplici attività da svolgere in loco mediante una sua costante partecipazione attiva.

Tali attività saranno strutturate in modo tale da poter essere svolte da varie tipologie di utenza: bambini, adulti e anziani, e soggetti portatori di handicap.

L'obiettivo del percorso didattico è dunque quello di fornire al visitatore gli strumenti necessari per poter acquisire chiavi di lettura diverse del paesaggio e dell'ambiente e/o di dargli al contempo la possibilità, misurandosi in prima persona, di interpretare alcune situazioni interessanti dal punto di vista ecologico.

Inoltre sono stimolate le capacità di percezione sensoriale, di osservazione, lettura ed interpretazione dell'ambiente circostante e di acquisire altresì competenze relative a tecniche di depurazione naturale, di misurazione e riconoscimento delle specie arboree, dell'età delle piante, delle loro modalità di accrescimento, di conoscenze ecologiche di base.

Saranno messi a disposizione degli utenti del parco opuscoli contenenti informazioni di carattere generale, ma anche approfondimenti su alcune tematiche specifiche di cui avvalersi come compendio durante la visita.

2. DEPURAZIONE E RECUPERO DELLE ACQUE DI SCARICO

2.1 RETE DI ADDUZIONE DELLE ACQUE DI SCARICO

Al *Sistema Integrato* saranno collegati gli scarichi industriali delle aziende del Nucleo Industriale di Avezzano secondo le seguenti modalita':

a) Non si usera' una rete fognaria comune ma ci sara' un collegamento diretto, mediante tubazioni, dalle aziende al depuratore industriale. Le tubazioni raccoglieranno 6 tipi di acque di scarico:
    a. Acque fortemente acide;
    b. Acque debolmente acide;
    c. Acque ammoniacali;
    d. Acque con contenuto salino;
    e. Acque organiche;
    f. Acque debolmente organiche.

b) Le tubazioni saranno collocate lungo la canalizzazione, quasi tutta a cielo aperto, della rete di raccolta delle acque meteoriche del nucleo industriale, in modo da evitare scavi onerosi e facilitare l'ispezione delle linee in caso di rilevazione di una perdita.

c) La rete di acque meteoriche del nucleo industriale di Avezzano fornira' in estate l'acqua, che dopo trattamento nel Sistema Integrato, potrá essere disponibile anche per l'irrigazione di aree agricole del Fucino.

La scelta di avere diverse adduzioni di acqua di scarico, separate per tipologia di inquinanti, permette di scegliere il trattamento ottimale in funzione delle sostanze da eliminare dall'acqua. Le varie tipologie di acque in ingresso all'impianto di depurazione recupero dell'acqua saranno sottoposte a controllo in tempo reale dei parametri chimico-fisici piu' significativi (pH, conducibilita', torbidezza, anioni e cationi). In questo modo, non solo il rispetto delle condizioni contrattuali di accesso al servizio di depurazione, ma anche un trattamento ottimale del refluo e conseguentemente una migliore qualita' del servizio di fornitura dell'acqua alle aziende.

2.2 CONFIGURAZIONE

L'impianto di depurazione e recupero dell'acqua avra' due funzioni:

- Depurera' le seguenti tipologie di acque industriali di scarico:
    - Acque debolmente acide (200 m^3/ora) con concentrazione totale di anioni[11] minore di 15 mg/litro;
    - Acque fortemente acide (80 m^3/ora) con concentrazione di anioni[12] maggiori di 100 mg/litro;
    - Acque ammoniacali (5 m^3/ora) con concentrazione di ammoniaca maggiore di 100 mg/litro;
    - Acque con contenuto salino (5 m^3/ora) con concentrazione di sali[13] maggiore di 100 mg/litro;
    - Acque organiche (5 m^3/ora) con concentrazione di sostanze organiche[14] minore di 3 mg/litro;
    - Acque meteoriche (200 m^3/ora);
- Recuperera' le acque debolmente organiche (600 m^3/ora) con COD[15] minore di 40 mg/litro e concentrazione di fenoli[16] minore di 50 mg/litro provenienti principalmente dalla cartiera, dove sono state gia' depurate dall'impianto biologico interno.

---

[11] *Fuoruri, cloruri, fosfati e solfati.*
[12] *Per esempio fluoruri, cloruri, solfati e fosfati.*
[13] *Per esempio fluoruro di ammonio.*
[14] *Per esempio tetrametilammonioidrossido.*

L'impianto e' costituito da varie sezioni specializzate per tipo di trattamento e quindi e' in grado di trattare le acque di diversa tipologia in modo ottimale.

L'impianto produce due tipi di acqua che noi classifichiamo in:

- *Acqua di prima qualita'*, di purezza equiparabile all'acqua potabile;
- *Acqua di seconda qualita'*, di tipo industriale.

Le acque provenienti dalla rete di adduzione delle acque industriali e dalla rete consortile di raccolta delle acque meteoriche sono convogliate in una stazione di pompaggio che distribuisce le acque all'interno dello stabilimento nei depositi (vasche e/o serbatoi) in testa agli impianti di depurazione e di trattamento.

Gli impianti di depurazione e recupero dell'acqua sono tutti installati in capannoni. La planimetria, la vista prospettica, i parametri urbanistici, la disposizione e codifica dei depositi sono riportati nei fogli 5, 6, 7 e 8 allegati al progetto.

2.3 IMPIANTO DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE METEORICHE

L'impianto di trattamento delle acque meteoriche funzionera' nel periodo estivo per rendere disponibile 50.000 m^3/mese di acqua che potrebbe essere utilizzata per irrigazione.

In tutti i processi naturali o artificiali di depurazione, prima di sottoporre l'acqua sporca ai veri e propri processi di depurazione e' sempre opportuno provvedere a dei trattamenti preliminari, aventi lo scopo di eliminare parti grossolane, abrasive, oleose,...

L'impianto di trattamento raccogliera' le acque provenienti dala rete delle acque bianche del Nucleo Industriale di Avezzano e dai piazzali e servizi igienici[17] dell'impianto del Sistema Integrato.

L'impianto sará costituito da vasca a pioggia, dissabbiatore meccanizzato e disoleatore e separatore dei grassi, seguito da una vasca di sedimentazione e da uno stadio di precipitazione. Poi l'acqua in uscita passera' all'impianto di trattamento delle acque a contenuto debolmente organico.

2.4 IMPIANTO DI RECUPERO DELLE ACQUE DEBOLMENTE ORGANICHE

Le acque in ingresso sono principalmente quelle della cartiera e quelle meteoriche, che hanno caratteristiche tali da poter essere scaricate in acque superficiali, come gia' succede attualmente. Questo impianto produce un'acqua di seconda qualita'.

L'impianto di trattamento delle acque a contenuto debolmente organico e' costituito da tre stadi:

- Ossigenazione dell'acqua tramite un canale di circa 1 Km (che riproduce un corso d'acqua montano);
- Fitodepurazione e lagunaggio, effettuata nei laghetti aventi volumetria totale di 40.000 m^3;
- Filtrazione, per ridurre il carico microbiologico.

Questo impianto utilizza tecnologie naturali senza sostanze chimiche. Le volumetrie e il profilo longitudinale dell'impianto di lagunaggio e fitodepurazione sono riportate nel foglio 9 allegato al progetto.

2.4.1 Fitodepurazione

La stazione di pompaggio prelevera' l'acqua debolmente organica, proveniente dalla Cartiera Burgo, l'acqua in uscita dall'impianto di trattamento delle acque meteoriche e l'acqua in uscita dall'impianto di trattamento delle acque fortemente acide e le pompera' lungo il canale di fitodepurazione.

La fitodepurazione (letteralmente "*depurazione delle acque per mezzo delle piante*") è caratterizzata da trattamenti di tipo biologico nei quali le piante, che si sviluppano in terreni saturi d'acqua, hanno un ruolo chiave nella depurazione degli scarichi inquinati per azione diretta dei batteri che colonizzano gli apparati radicali e/o rizomatosi.

---

[15] *Chemical Oxigen Demand : la quantita' di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente, con particolari modalita' operative, le sostanze ossidabili presenti nei liquami.*

[16] *I fenoli sono sostanze derivate dagli idrocarburi aromatici per sostituzione di uno o più atomi di idrogeno con gruppi ossidrile -OH. Sono prodotti dalla decomposizione della sostanza vegetale e quindi si trovano nell'acqua di cartiera.*

[17] *Lo scarico dei servizi igienici e' preventivamente grigliato e triturato.*

Questo meccanismo di depurazione non è altro che la riproposizione del modo che la natura ha escogitato per riutilizzare, senza alcuna alterazione del sistema ecologico, i residui biologici del regno animale attraverso i servigi del regno vegetale.

La prima esperienza di questo tipo risale al 1952, anno in cui Seidel iniziò una serie di sperimentazioni al Max Planck Institute. Dopo venti anni di studi si arrivo', nel 1977, al primo impianto di fitodepurazione in scala reale, costruito a Othfresen, in Germania, per il trattamento dei reflui urbani[18]. Attualmente esistono in Europa circa 5600 impianti di varie tipologie e negli Stati Uniti circa 10.000 impianti.

Di fronte agli enormi costi di gestione dei tradizionali impianti di depurazione, che presentano spesso difetti di funzionamento, le tecniche di fitodepurazione, ove è possibile installarle, sono assolutamente più economiche e affidabili.

I meccanismi di fitodepurazione possono essere classificati come *sistemi a flusso superficiale con macrofite radicate emergenti e galleggianti*.

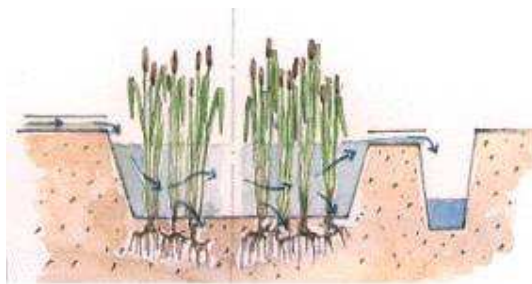



Figura 12 – Canale di fitodepurazione

Nelle altre zone in cui hanno realizzato impianti di fitodepurazione, sono costretti a far crescere in serra piante come *Phragmites australis* (la comunissima canna palustre) e *Lemna minor.*

A titolo di esempio ricordiamo che è in funzione a Jesi un sistema di post-trattamento mediante tecniche di depurazione naturale dell'intera portata dell'effluente dell'impianto di depurazione consortile del comune, della dimensione di circa sei ettari con una capacità stimata di depurazione pari a circa 60.000 abitanti equivalenti.

Dopo il canale di fitodepurazione l'acqua e' immessa in una serie di vasche di lagunaggio.

2.4.2 Lagunaggio

Il sistema ad ossidazione in lagune aerate differisce dal processo a fanghi attivi poiché non si utilizza il ricircolo dei fanghi per mantenere la flora batterica necessaria alla depurazione[19] nella vasca di ossidazione; così come non si ricorre alla sedimentazione finale.

I fanghi biologici sono prodotti dalla depurazione del substrato entrante nel bacino di aerazione. Le vasche dell'impianto sono in cemento. La fornitura di ossigeno è fornita da turbine galleggianti o da pompe sommerse con sistema di diffusione a tubi tipo Venturi con prese d'aria in atmosfera munite di filtri.

Le lagune aerate, a causa dei bassi valori dei solidi sospesi totali (MLSS) e della conseguente bassa attività biologica per unità di volume di bacino, hanno il consumo di energia necessario per ottenere una sufficiente miscelazione prevalente sul consumo necessario al trasferimento dell'ossigeno per il processo biologico.

Le lagune aerobiche hanno una profondità di circa 1,5 m tale da permettere la presenza di ossigeno disciolto in tutti i punti della laguna; l'acqua sara' continuamente miscelata con pompe o agitatori superficiali.

Nelle lagune facoltative profonde 1 - 2 m, si possono distinguere tre zone: una zona superficiale aerobica dove sono presenti e sviluppano batteri ed alghe, (tale zona riduce il problema degli odori); una zona

[18] Kickuth 1977
[19] Valori compresi tra i 6 e i 10 milioni di individui litro

anaerobica dove si depositano i solidi sedimentabili di sostanze decomposte dai batteri anaerobici presenti sul fondo del bacino; una zona intermedia dove sono presenti i batteri facoltativi. Le lagune anaerobiche sono profonde 2 - 5 m.

Per i bacini aerati e non, di piccole dimensioni, si dovrà prevedere il punto di ingresso del liquame nella posizione centrale, mentre per bacini di qualche ettaro l'immissione può avvenire a 100 m dalla costa laterale. Le pendenze degli argini sono funzione del tipo di terreno e di materiale sintetico utilizzato e la loro altezza dal pelo libero superficiale, in genere di 0,5 - 1 m, è funzione della grandezza del bacino; gli scarichi dovranno essere realizzati direttamente sotto la superficie, per evitare problemi durante la stagione fredda.

La messa in funzione della laguna sara' preceduta e seguita da una serie di controlli che vanno dalla verifica della tenuta, alla capacità di resistere all'erosione delle sponde, alla verifica della copertura vegetale delle sponde.

La messa in marcia avverra' durante il periodo più caldo dell'anno, con invio di acqua in maniera intermittente. e verifiche periodiche del pH.

Tale valore sara' superiore a 7,5 onde favorire la decomposizione del fango sul fondo. Il controllo dei valori di COD , BOD5 e solidi sospesi, consente inoltre di verificare il funzionamento e la messa a regime della depurazione.

Soltanto dopo aver verificato tali condizioni si invierà in maniera continua l'acqua. La verifica ed il controllo biologico non sono necessari in quanto il sistema si riadatta automaticamente alle variazioni di carico tendendo a raggiungere lo stato di equilibrio per le nuove condizioni.

In relazione alle caratteristiche biologiche di tale processo alcune variazioni di fattori quali temperatura, pH, carenza di nutrienti ecc. possono produrre disfunzioni nel funzionamento della laguna.

Tra le disfunzioni sono da porre in rilievo quelle relative a:

a) diffusione di cattivi odori dovuta generalmente all'aumento del carico organico in arrivo, con riduzione del pH e dell'ossigeno disciolto;

b) blocco degli aeratori superficiali per formazione di ghiaccio;

c) proliferazione di insetti, che puo' essere eliminata con una disinfestazione delle erbacce e del materiale galleggiante e di utilizzare in taluni casi degli insetticidi.

I processi biologici fondamentali che hanno luogo nello stagno biologico sono la fotosintesi, l'ossidazione aerobica, la decomposizione anaerobica e azione fagotrofa dei predatori.

La sostanza organica contenuta nel liquame che entra in un stagno biologico va incontro a reazioni biochimiche che portano alla sua trasformazione sotto forma di fango, alla successiva decomposizione di quest'ultimo ed alla parziale sintesi di nuove cellule viventi.Una volta depositatosi, se è disponibile O_2 disciolto, il fango e' decomposto dai batteri aerobi e subisce una completa ossidazione. Oltre alla flora batterica di natura aerobica o anaerobica, nello stagno aerobico o facoltativo sono presenti anche le alghe verdi e i predatori.Le prime traggono energia dalla luce solare e utilizzano CO_2, composti azotati e fosforici (prodotti dalla decomposizione batterica delle molecole organiche più complesse), per sintetizzare nuove cellule algali con produzione di O_2 gassoso come catabolica e questi a sua volta contribuisce a mantenere il liquido in condizioni aerobiche.Gli organismi predatori fanno invece principalmente parte dello zooplancton, costituito da piccoli animali che si nutrono di batteri ed alghe producendo O_2 come catabolita gassoso.

In questo modo si attua un sistema ciclico attraverso il quale la sostanza organica biodegradabile e' in parte convertita in materiale cellulare ed in parte gassificata.Il bilancio energetico di un tale sistema ciclico delle laguna aerobica coinvolge due fonti di provenienza e varie forme di destinazione.La maggior parte delle energie che entra nel sistema è quella solare che si libera in parte come calore ed in parte è utilizzata dalla biomassa attiva, l'acqua debolmente organica costituisce poi la seconda fonte di energia, che e' veicolata parte in batteri, alghe e predatori, in parte e' dispersa in calore e parte esce dal sistema con l'effluente finale.

Per gli stagni aerati, la fonte principale di energia è l'apporto dei sistemi di miscelazione e di ossigenazione artificiale.La produzione di fango è dovuta a diversi fenomeni , la sedimentazione dei materiali pesanti, la bioflocculazione (o bioassorbimento), l'autoflocculazione e la sintesi di nuove cellule.Il lungo periodo di ritenzione a cui è sottoposto il liquame nello stagno fa si' che i solidi sedimentabili sono rimossi totalmente ,

a bioflocculazione, fisico biologico per cui le sostanze organiche finemente particolate e colloidali, ad opera di una popolazione molto ricca e varia di microrganismi, vanno a costruire fiocchi facilmente sedimentabili.

Tale fenomeno è facilitato per temperature al di sopra dei 4℃ e da una buona miscelazione della fase liquida.Gli stagni realizzati hanno una profondità media di 1,00 metri ed operano sfruttando fenomeni biologici diversi in funzione della loro profondità, della intensità luminosa e della trasparenza del mezzo.

Adatti a trattamento di scarichi con concentrazioni di BOD5 analoghe a quelle dei liquami domestici e consentono rendimenti di depurazione che possono superare il 90% sul filtrato.Negli strati superiori, per effetto della fotosintesi algale, si ha un'intensa ossigenazione del liquame, che consente l'instaurarsi di una attiva fermentazione batterica del tipo aerobico; negli strati profondi e nei sedimentati, non essendo disponibile ossigeno disciolto, il processo è del tipo anaerobico - facoltativo.L'estensione in profondità di questi due strati è continuamente variabile nel corso della giornata: è individuabile un livello di separazione che è più profondo nelle ore diurne e più superficiale durante la notte : per adattarsi a questa situazione, la flora batterica è di tipo facoltativo.Naturalmente se l'incidenza del vento nel corso della giornata è notevole, tale stratificazione è modificata.Il maggior apporto di ossigeno è di origine fotosintetica; le quantità sono variabili con l'intensità luminosa, la latitudine, la stagione, la temperatura e la trasparenza del liquame.

Alle nostre latitudini la produzione di O_2 fotosintetico può oscillare tra 20 e 100 Kg O_2/ettaro per giorno. Il vento può contribuire parzialmente all'ossigenazione dell'accqua, si stima però che tale apporto non superi 10 Kg O_2 /ettaro per giorno.Poiché le variazioni stagionali possono produrre sbalzi di temperatura tali che provocano formazione di ghiaccio sulla superficie con conseguente diminuzione di penetrazione della luce solare ed in considerazione delle eventuali variazioni di carico, l'impianto sara' dotato anche di diversi aeratori di fondo.Il supporto per le fermentazioni batteriche aerobiche è fornito con ossigeno formato da tubi venturi di tipo statico sommersi, che hanno il vantaggio, oltre a quello di non produrre fastidiosi effetti aerosol, di trasferire il calore apportato dall'aria compressa, per temperature esterne inferiori ai 6℃.Lo scopo degli organi di aerazione non è solo quello di fornire ossigeno , ma anche di mantenere rimescolata l'idromassa.L'acqua all'uscita dall'ultima vasca e' filtrata per eliminare la carica batterica presente. L'acqua in uscita avra' le caratteristiche della normale acqua per uso industriale.

2.5 IMPIANTO DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE FORTEMENTE ACIDE

Il trattamento delle acque acide, circa 80 m^3/ora, e' fatto in tre fasi : un pre-trattamento, il classico processo chimico-fisico con calce e polielettrolita ed infine un post-trattamento. L'impianto chimico- fisico a calce sara' costituito da due linee in parallelo, in modo da garantire sempre almeno il 50% della capacita' di trattamento.

Il processo di depurazione e' discontinuo. La tipologia del flusso in ingresso ai serbatoi di accumulo é riportata nella tabella n.13.

Inquinanti	**Concentrazione** (ppm)
[F]	700
[Cl]	3,5
[SO_4]	62
[PO_4]	3700
[NO_3]	860
[NH_4]	0.15

Tabella n.13 -:Composizione media delle acque fortemente acide

Il deposito delle acque acide provenienti dal Nucleo Industriale di Avezzano e' costituito dalle vasche VA11 e VA12 e dai serbatoi E01, E02, E03 ed E04. Il deposito dei rifiuti in ingresso e' costituito dai serbatori E05, E06, E07, E08, E09 ed E10.

Il processo puo' essere diviso in tre parti: complessazione, trattamento fanghi e scarico dell'acqua trattata.

- **Complessazione** Il flusso da trattare é alimentato all'interno di una serie di 2 reattori. Nel primo, dotato di un sistema di agitazione, avviene l'aggiunta del latte di calce che reagisce formando dei sali a bassa solubilita' con gli anioni contenuti nella corrente in ingresso.

Figura n.13: Sistema di reattori

Le valvole sono comandate da pHmetri che dosano il latte di calce fino all'ottenimento di opportuni valori di pH. L'agitazione dei reattori e' necessaria per permettere l'ottimale miscelazione della massa reagente all'interno dei reattori, inoltre evita l'eventuale precipitazione di sali all'interno di queste apparecchiature. Nel secondo reattore, avviene l'immissione del polielettrolita, contenuto in un serbatoio da 1 m^3, lo scopo e' iniziare la formazione di fiocchi di precipitato.

- **Sedimentazione** : la decantazione fanghi avviene in un sedimentatore da 54 m^3.

  Le acque chiare prelevate con un sistema a "*sfioro*" sono inviate ad un serbatoio intermedio con una capacita' pari a 6 m^3, mentre i fanghi che si accumulano sul fondo del sedimentatore sono inviati tramite pompe pneumatiche al serbatoio di ispessimento. Il sedimentatore é realizzato in modo da permettere l'introduzione al suo interno dei fanghi acquosi ad una quota abbastanza bassa, in modo da non consentire al fango un possibile inquinamento dell'acqua chiara estratta dall'alto.

- **Trattamento fanghi** I fanghi, accumulati all'interno del serbatoio di ispessimento, passano alla filtropressa per la fase di compattazione. Da questa apparecchiatura si origina un filtrato che viene inviato ad un successivo trattamento ed i fanghi che sono inviati all'impianto di solidificazione e stabilizzazione. La loro composizione e' riportata nella tabella n.14.

Figura n.14: Sedimentatore acque acide

Si prevede che la composizione media dei fanghi sara' quella riportata nella tabella seguente.

Inquinanti	**-Concentrazione** (ppm)
[F] mg/Kg	1900
[Cl] mg/Kg	130
[SO_4] mg/Kg	390
[NO_3] mg/Kg	515
pH	9

Tabella n.14: Composizione dei fanghi

I vapori che possono svilupparsi all'interno di queste apparecchiature sono inviati in un'abbattitore ad umido (*scrubber*) e lavati in controcorrente con acqua trattata, che e' poi inviata al serbatoio di accumulo della acque acide per essere trattata in un secondo ciclo.

L'acqua chiarificata, di caratteristiche riportate in tabella n. 15, e' accumulata in un serbatoio di servizio.

Inquinanti	**-Concentrazione** (ppm)
[F]	16
Cl]	15
[SO_4]	4
[PO_4]	3,5
[NO_3]	0.1
[NH_4]	50
pH	11

Tabella n.15: Composizione acque all'uscita del sedimentatore

Dal serbatoio di servizio le acque sono prelevate per essere inviate al post-trattamento nelle due vasche VA11 e VA12.

Figura n.15: Vasche di raffinazione

Le acque di scarto del post-trattamento sono accumulate in un serbatoio polmone e poi inviate ad un impianto di trattamento per l'ultima raffinazione della qualita' dell'acqua.

2.6 IMPIANTO DI RECUPERO DELLE ACQUE DEBOLMENTE ACIDE

L'acqua debolmente acida (250 m^3/ora) sara' trattata mediante osmosi inversa, in modo da avere un'acqua di prima qualita' di caratteristiche simili all'acqua potabile.

Il trattamento sara' fatto il quattro stadi, teneno particolare cura al controllo del pH della soluzione, per evitare l'impaccamento delle membrane per precipitazione di alcuni inquinanti presenti nell'acqua. Il concentrato dell'osmosi inversa sara' trattato nello stadio di evaporazione.

L'impianto sara' diviso in quattro linee di processo totalmente indipendenti, aventi caratteristiche identiche. Concettualmente le fasi di processo sono le seguenti: giltrazione solidi sospesi e materiale organico, osmosi inversa, degasazione, scambio ionico ed utrafiltrazione.

L'acqua debolmente acida proviene dalla rete di adduzione del Nucleo Industriale di Avezzano ed e' depositata nelle quattro vasche denominate VA01, Va02, Va03 e VA04. L'impianto e' alimentato tramite quattro pompe centrifughe. I vari stadi del processo sono:

- **Filtraggio a sabbia**

  Questa unita' consiste di una batteria di, disposti in parallelo. In questi l'acqua viene alimentata dall'alto per poi attraversare il letto di sabbia filtrante contenuta all'interno dell'apparecchiatura. A seguito dell'attraversamento del filtro, si ottiene dal fondo il fluido purificato. I filtri sono utilizzati per processare in continuo il flusso di acqua in ingresso. Nello strato filtrante avviene una deposizione di materiale solido che costituisce le impurezze da filtrare , quindi si ha uno sporcamento dei tre diversi strati di sabbia. Il materiale accumulato crea difficolta' all'alimentazione di ulteriore acqua in quanto chiude i canali di passaggio alla stessa all'interno dello strato di sabbia.

  Questo crea una perdita di carico all'interno dell'apparecchiatura e, quando il la differenza di pressione raggiunge I livelli di soglia, e' necessaria una operazione di pulitura del filtro o controlavaggio.In questa fase sono ripristinate le condizioni iniziali del filtro con la rimozione delle impurita' depositate sugli strati filtranti. Questa operazione e' completamente automatica ed e' realizzata su un filtro per volta. In questo caso l'apparecchiatura si isola dalla linea di alimentazione e gli altri due filtri si fanno carico della portata totale da elaborare all'impianto. Il lavaggio e' realizzato utilizzando dell'acqua industriale alimentata tramite una pompa con due pompe di riserva. Prima di iniziare la fase di controlavaggio il filtro e' messo in condizioni atmosferiche. Dopo questa fase e' inviato dal basso il flusso di controlavaggio con lo scopo di sollevare la sabbia ad una quota determinata anche con l'aiuto di aria che e' alimentata in modo da rendere piu' semplice l'operazione di sollevamento del materiale filtrante. Finita l'operazione di pulitura il filtro e' riempito con la stessa acqua di controlavaggio, a questo punto, e' alimentata l'acqua industriale da filtrare dalla sommita' dell'apparecchiatura.

Figura n.16: Filtri a sabbia

- **Filtraggio con carboni attivi**

Ai filtri a sabbia segue un altro tipo di filtrazione, quello con carboni attivi, mirato a ridurre il contenuto organico del fluido in alimentazione.. Scopo di questa fase e', quindi, quella di realizzare una filtrazione su materiale organico e ridurre il contenuto di alogeni. Concettualmente hanno lo stesso funzionamento dei filtri descritti in precedenza: il flusso da trattare e' alimentato alla sommita' del filtro in modo da attraversare tutto il carbone attivo contenuto in esso e viene espulso dal fondo. La differenza col processo precedente e' la metodologia di filtrazione: meccanica nel primo caso, chimica nel secondo. In questi filtri infatti si ha un adsorbimento del materiale inquinante sul carbone attivo. Il carbone ha la stessa pezzatura lungo tutto il filtro, si puo' quindi parlare di un unico strato filtrante. Normalmente I filtri operano in parallelo ripartendo il flusso totale da trattare in porzioni uguali. Con l'utilizzo si ha un intasamento dei filtri a causa delle speci filtrate, seguira', in questi casi, una operazione di pulitura del materiale filtrante. Quando un filtro si trova in posizione di lavaggio o sterilizzazione, e' isolato e il flusso e' processato attraverso i filtri rimanenti che si fanno carico della portata totale.L'operazione di "*intrappolamento*" delle specie da filtrare avviene all'interno dei canali del carbone attivo. La loro efficienza quindi viene meno a causa dell'occupazione di queste sedi filtranti. Dalle figura 3 si capisce la metodologia di filtrazione.

Per quanto riguarda le posizioni delle valvole del filtro, la rigenerazione avviene allo stesso modo dei filtri a sabbia; in questo caso comunque segue una sterilizzazione in corrente di vapore a 120 °C completamente automatizzata. L'operazione e' necessaria in modo da permettere all'acqua contenuta all'interno del grano, di evaporare e trascinare fuori le impurezze in esso intrappolate, in questa fase sono aperte le valvole di scarico. La fase di sterilizzazione dura circa 8 ore; nonostante l'operazione di rigenerazione il carbone perde la sua efficienza dopo circa 3 anni. Dopo questa fase il filtro rientra in funzione avendo prima subito un lavaggio con acqua industriale che lo libera dalle speci filtrate.

Figura n.17: Filtri a carbone attivo

- **Filtraggio "precoat"**

  In questa fase il flusso attraversa due filtri connessi in parallelo, che utilizzano una serie di apparecchiature ausiliari per il corretto funzionamento. Questi filtri sono realizzati in acciaio con all'interno un insieme di "*candele*" montate su piastra metallica. Queste sono formate da un cilindro di metallo che non ha capacita' filtranti. Per processare correttamente il flusso, devono essere ricoperte di un materiale filtrante per svolgere correttamente la loro funzione.

  Il materiale filtrante, una farina fossile, e' stoccato all'interno di un recipiente adiacente i filtri dove e' miscelato insieme ad acqua filtrata e polielettrolita in minime quantita'. A seguito di questa immissione inizia la flocculazione della farina fossile, il materiale viene quindi alimentato all'interno del filtro con una pompa dalle seguenti caratteristiche:

  L'acqua contenuta nella miscela segue il processo normale di filtrazione, riesce ad attraversare le maglie sulla superficie del filtro e a passare all'interno dello stesso, la sostanza flocculata invece rimane all'estrerno della camicia accumulandosi e ispessendosi. Dopo questa fase il filtro e' pronto per la filtrazione. Quando la perdita di carico aumenta oltre il valore di soglia, il filtro deve essere rigenerato. La rigenerazione avviene con l'utilizzo di acqua e aria compressa alimentati in controcorrente all'interno delle candele. Il serbatoio di aria compressa ha le seguenti specifiche:

  L'acqua e l'aria passando all'interno delle candele staccano lo strato filtrante dalla superficie esterna delle candela e di seguito il flusso refluo viene inviato allo scarico, come si nota dalla figura 7. Durante questa fase l'apparecchiatura e' a pressione atmosferica tramite una valvola che si apre sulla parte alta del filtro.

- **Ultrafiltrazione**

  L'acqua trattata e' alimentata all'interno di batteria batteria di ultrafiltrazione. L'acqua passa all'interno delle membrane per originare un flusso di permeato e uno di concentrato come riportato in figura13.

Figura n.18: Impianto di ultrafiltrazione

Il concentrato rappresenta circa il 5% dell'intero flusso che attraversa il sistema di ultrafiltrazione.

- **Osmosi inversa**

  Prima di questa fase, l'acqua trattata fluisce all'interno di filtri di sicurezza equipaggiati con elementi filtranti di 5 µm.

  Le pompe forniscono l'energia necessaria per assicurare I valori di portata e pressione necessaria al processo. L'impianto di osmosi inversa e' composto da un insieme di 4 racks connessi in parallelo, al massimo tre di questi possono funzionare contemporaneamente. Su ogni rack sono presenti 6 moduli filtranti, in ognuno di questi sono contenuti 5 permeatori connessi in serie.

  L'acqua in alimentazione e' continuamente separata in due flussi: un permeato con una salinita' molto bassa ed il concentrato, che e' il prodotto di scarto, dove e' contenuta tutto la parte salina dell'acqua in ingresso. La figura 9 rappresenta la fluidodinamica interna al modulo di osmosi inversa.

  Il concentrato e' drenato nel successivo modulo di osmosi inversa, l'acqua permeata, ridotta nel contenuto di elementi organici, colloidi e microrganismi, e' inviata ai serbatoi del permeato da 50 m^3.

  I moduli dell'osmosi inversa sono comandati dal livello dei serbatoi di accumulo. In caso di basso livello si mettono in funzione per la produzione di acqua depurata. Quando invece il livello comanda il fermo del modulo, due pompe prelevano parte del permeato e lo inviano all'interno dei moduli per un flusso che dura circa 10 min. L'immisssione del permeato e' necessaria per bilanciare le forze osmotiche, il flusso infatti si arresta nel caso in cui da entrambe le parti della membrana i fluidi presentano le stesse caratteristiche.

- **Degasazione**

  Il permeato, dopo le operazioni precedenti, e' inviato ad un degasatore. Il fluido da processare entra dalla testa del degasatore e dopo aver attraversato un riempimento, tale da aumentare la superficie di contatto dell'acqua in ingresso, viene in contatto con un fluido scaldante a 85°C.

Figura n.19: Sistema di osmosi inversa

Dalla coda del degasatore il flusso e' prelevato e diviso in due flussi, uno prelevato dalle seguenti pompe per essere inviato ad uno scambio termico di recupero nel seguente scambiatore:per poi seguire le

ulteriori fasi del processo, l'altro viene aspirato da due pompe e messo a contatto con un fluido a contenuto termico piu' alto nel seguente scambiatore con lo scopo di alzare il contenuto termico del fluido ricircolato, il quale e' inviato all'interno dello scambiatore per degasare il permeato in ingresso.

Dopo questa fase l'acqua trattata viene inviata all'interno di un serbatoio di stoccaggio.

Dopo questa fase l'acqua depurata e' pompata alle vasche di raccolta. Poi, prelevata dalla stazione di pompaggio, e' inviata alle aziende del Nucleo Industriale di Avezzano.

2.7 IMPIANTO DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE AMMONIACALI

Le acque ammoniacali, circa 5 m^3/ora, saranno depurate con un processo di "*Stripping*" tramite una colonna, che, utilizzando vapore, estrarra' l'ammoniaca, producendo idrossido di ammonio al 30%. Le caratteristiche medie dell'acqua di scarico sono riportate nella tabella seguente.:

Inquinante	**Concentrazione** (ppm)
[F]	27
[Cl]	0.7
[SO_4]	287
[PO_4]	0.4
[NO_3]	8.84
[NH_4]	13400

Tabella n.16 :Composizione dell'acqua ammoniacale

Il trattamento e' discontinuo. Il processo prevede l'accumulo dell'acqua ammoniacale proveniente dal Nucleo Industriale di Avezzano nei serbatoi F01, F02, F03 ed F04 e dei rifiuti nei serbatoi F05, F06, F07, F08, F09 ed F10.

Il processo prevede la distillazione delle acque ammoniacali. Il flusso e' alimentato all'interno della colonna di distillazione con vapore, proveniente dalla centrale di cogenerazione. L'apparecchiatura e' realizzata per rimuovere l'ammoniaca dalle acque di scarico utilizzando uno *stripping* in controcorrente di vapore ad ottenere in testa alla colonna una soluzione piu' concentrata di ammoniaca. Si tratta di una colonna realizzata completamente in materiale anticorrosivo ad alte prestazioni, con un numero di unita' di distillazione superiore a 10. La colonna e' dimensionata per una temperatura massima di 200 ℃ ed a un a pressione di esercizio pari a 7.8 bar, e' supportata su un telaio in acciao.

Il flusso da trattare e' preriscaldato in uno scambiatore ed alimentato alla colonna di stripping. a colonna prevede l'immissione di vapore, fornito dalla centrale di cogenerazione, 'acqua ammoniacale alimentata in testa. L'ammoniaca alla testa della colonna e'affreddata in due fasi:

- nel precondensatore che utilizza acqua del circuito di raffreddamento dove la maggior parte del distillato e' condensato;
- nella serpentina di raffreddamento operante con acqua del circuito di raffreddamento dove condensa la restante parte di ammoniaca e il vapore che viene a contatto in controcorrente con la soluzione di ammoniaca riciclata nel condensatore.

Il vapore, per evitare incrostazioni all'interno della caldaia, e' fatto circolare a basso flusso anche quando la colonna non e' in distillazione. La correlazione tra la concentrazione di ammoniaca e la densita' della

soluzione acquosa permette di accettare o meno il prodotto di testa colonna, nel secondo caso la soluzione e' ricircolata all'interno del processo.

Figura n.20 – Colonna di distillazione

Il distillato è idrossido di ammonio di grado tecnico, avente composizione media riportata nella tabella 17 che sará accumulato per essere successivamente venduto come materia prima nel serbatoio H01.

Inquinanti	**-Concentrazione** (ppm)
[F]	8
[Cl]	0
[SO_4]	25
[PO_4]	0
[NO_3]	0
[NH_4]	31%

Tabella n.17 :Composizione di testa colonna

Il residuo, con una composizione media come nella seguente tabella, sara' successivamente trattato nell'impianto di recupero delle acque debolmente acide.

Inquinanti	**-Concentrazione** (ppm)
[F]	4
[Cl]	6
[SO_4]	97
[PO_4]	11
[NO_3]	15
[NH_4]	0

Tabella n.18 :Composizione di coda colonna

2.8 IMPIANTO DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE SALINE

Le soluzioni saline (fluoruro di ammonio), 800 litri/ora, sara' prima trattata con un processo di "*Stripping*" tramite una colonna, che, utilizzando vapore, estrarra' l'ammoniaca, producendo idrossido di ammonio al 30%. L'acqua fortemente acida ottenuta sara' sottoposta poi al classico trattamento chimico-fisico con calce e polielettrolita. L'impianto sara' dotato dei seguenti depositi, i serbatoi B01, B02 e B03 per immagazzinare le acque provenienti dal Nucleo Industriale di Avezzano e i serbatoi B04, B05 e B06 per i rifiuti liquidi:

Il processo di depurazione delle acque saline e' simile al processo di depurazione delle acque fortemente acide. A causa della elevata corrosivita', durante il processo, del liquido trattato, si utilizzeranno i migliori materiali metallici che resistono alla corrosione.

2.9 IMPIANTO DI DEPURAZIONE DELLE ACQUE ORGANICHE

Le acque organiche, in base alla loro composizione, saranno o concentrate mediante evaporazione, riducendo il volume della soluzione di circa 20 volte o recuperate mediante un processo proprietario. L'impianto sara' dotato dei seguenti depositi, i serbatoi G01, G02, G03 e G04 per immagazzinare le acque provenienti dal Nucleo Industriale di Avezzano e i serbatoi G04, G05, G06, G07, G08, G09 e G10 per immagazzinare i rifiuti liquidi da depurare.

Le acque in ingresso saranno inviate all'impianto di concentrazione per ottenere soluzioni acquose di solventi a concentrazione tale da poter essere inviate all'*Impianto di recupero dei rifiuti e produzione dell'idrogeno*.

2.10 IMPIANTO DI CONCENTRAZIONE

Il concentrato dell'osmosi inversa e degli altri impianti di depurazione sara' trasformato in un fango tramite tre tipi di evaporatori:

- Evaporatori multistadio;
- Evaporatori con pompa di calore,
- Evaporatori a raschiamento.

L'acqua calda e il vapore necessari all'evaporazione sará fornita dalla centrale a cogenerazione. Gli evaporatori con pompa di calore sono evaporatori/concentratori per il trattamento di liquidi a base acquosa. Questo tipo di apparecchiatura sfrutta l'effetto del vuoto per far evaporare i liquidi a base acquosa a basse temperature. Il liquido da trattare è risucchiato all'interno della camera di ebollizione per effetto del vuoto

(4÷5 KPa assoluti, con acqua di raffreddamento a 28ºC o inferiore). I filtri consentono di separare i materiali grossolani. Una valvola pneumatica controlla il flusso del liquido in base al sensore di livello.

Il liquido nella camera di ebollizione e' fatto circolare da una pompa e passa al lato tubi dello scambiatore. Il calore necessario per l'evaporazione e' fornito dall'acqua calda che passa al lato mantello dello scambiatore. La sua circolazione è controllata da una valvola motorizzata a tre vie, controllata dal PLC. Il concentrato del processo è scaricato attraverso l'apertura della valvola pneumatica e in via opzionale dalla pompa a membrana. Ci sono due tipi di modalità che identificano il tipo di funzionamento della macchina per scaricare il concentrato:

• *tempo*: e' fissato un intervallo di tempo;

• *densità*: e' impostato un valore di densità per il concentrato. Questo tipo di scarico è possibile, poiche' sara' installato un dispositivo per la misurazione ed il controllo della densità.

Il vapore formatosi passa dapprima attraverso il separatore anelli per la condensazione delle gocce e poi attraverso un'altro scambiatore dove la condensazione avviene attraverso l'acqua fredda fornita dal servizio di raffreddamento dell'impianto. Una valvola motorizzata controlla il flusso all'interno dello scambiatore.

Il distillato condensato e' poi accumulato nel serbatoio finale e poi scaricato dal una pompa attraverso l'apertura di una valvola. Un trasmettitore di livello regola il funzionamento dello scarico.

La macchina e' fornita con sensori per il controllo dei livelli esterni dei serbatoi di accumulo. Essi consentono di automatizzare il funzionamento della macchina in base al livello di liquido nei serbatoi di raccolta dei liquidi di processo. I sensori di livello sono usati per l'arresto della macchina quando e' raggiunto il livello minimo nel serbatoio del liquido da trattare ed il livello massimo nei serbatoi dei liquidi trattati (concentrato e distillato).

Il sistema del vuoto consiste in una pompa ad anello liquido accoppiata ad un eiettore, che sfrutta l'aria circostante come fluido motore.Una valvola pneumatica sistemata a monte dell'eiettore impedisce la rottura del vuoto durante le operazioni di manutenzione o condizioni di attesa della macchina. La pompa attiva l'eiettore per generare il vuoto nella camera di ebollizione. L'anello liquido della pompa è alimentato dall'acqua raccolta nel serbatoio del distillato. I gas incondensabili fuoriescono attraverso lo sfiato sopra il serbatoio del distillato. La valvola pneumatica regola il flusso dell'anello liquido della pompa. L'acqua fredda e' utilizzata nello scambiatore a serpentino per mantenere freddo il distillato, e in modo da mantenere alto il livello di efficienza del sistema del vuoto. La valvola motorizzata controlla il flusso del fluido refrigerante.

La capacita' di trattamento di questo impianto sara' di 180.000 litri/ora.

2.11 SISTEMA DI BONIFICA DEI FUSTI

Il sistema di bonifica dei fusti e' costituito da due apparecchiature con i relativi serbatoi di raccolta dei reflui in grado automaticamente di bonificare i fusti l'una dalle sostanze organiche e l'altra da quelle inorganiche.

Le due apparecchiature sono automatizzate in modo da evitare qualunque contatto fra l'operatore e i residui contenuti nei fusti. I reflui inorganici prodotti dalle apparecchiature sono inviate a successivo trattamento nell'impianto di recupero dell'acqua del Sistema Integrato.

I reflui organici prodotti dalle apparecchiature saranno immagazzinati in un serbatoio, per poi essere pompati all' *Impianto di recupero dei rifiuti e produzione dell'idrogeno*.

I contenitori puliti possono prendere quattro vie:

- sono venduti come imballaggi;
- se metallici, sono compattati e venduti come rottami;
- se di plastica, sono triturati e il polietilene in granuli venduto come materia prima;
- se di plastica, sono triturati e mandati all'impianto di recupero dei rifiuti.

2.12 MPIANTO DI SOLIDIFICAZIONE E STABILIZZAZIONE DEI FANGHI

L'impianto avra' una capacita' di trattamento di 10.000 ton/anno di fanghi, palabili o pompabili, caratterizzati dalla presenza di inquinanti prevalentemente inorganici (classificati come *rifiuti speciali non pericolosi*). I fanghi saranno messi in deposito in 12 contenitori, denominati da SF01 a SF12, mentre il materiale ottenuto sara' depositato in 4 contenitori, denominati da SF13 a SF16.

L'inertizzazione di rifiuti è un processo chimico–fisico di immobilizzazione delle sostanze inquinanti in una matrice inerte. I processi di inertizzazione possono essere così suddivisi:

• stabilizzazione/solidificazione (S/S), ottenuta con leganti idraulici a base di reagenti inorganici, quali cemento, calce, argilla etc.;

• stabilizzazione/solidificazione (S/S), ottenuta con reagenti organici, quali materie termoplastiche, composti macroincapsulanti, polimeri (soprattutto sistemi urea/formaldeide);

• vetrificazione e vetroceramizzazione, definite dall'EPA[20] "*distruzione termica del rifiuto*".

I processi di S/S riducono sia la mobilità degli inquinanti sia la superficie di contatto tra il rifiuto e le acque di percolazione, attraverso una duplice azione di fissazione chimica e strutturale all'interno di una matrice inerte.

La fase di stabilizzazione diminuisce la pericolosità del rifiuto attraverso la conversione dei contaminanti nella loro forma meno solubile, meno mobile e meno tossica.

La fase di solidificazione trasforma il rifiuto stesso in un materiale solido ad alta integrità strutturale, diminuendo la mobilità degli inquinanti e quindi la loro possibile dispersione nell'ambiente.

I trattamenti di inertizzazione sono intesi a diminuire il potenziale inquinante e la pericolosità dei rifiuti, in modo da renderli idonei alle successive fasi di smaltimento in discarica o di recupero.

Il processo di inertizzazione sara' destinato a rifiuti speciali, palabili o pompabili, caratterizzati dalla presenza di inquinanti prevalentemente inorganici.

2.12.1 Processi di stabilizzazione/solidificazione

La natura dei reagenti impiegati caratterizza i vari processi di S/S e determina le proprietà dei prodotti di inertizzazione. Come reagenti possono essere utilizzati:

- reagenti inorganici, quali cemento/silicati (su base neutra o acida),calce e argilla. È l'applicazione più diffusa su scala industriale, grazie al basso costo dei reagenti, alla semplicità della tecnologia, ai contenuti costi di investimento e alla facile realizzazione e gestione degli impianti;
- reagenti organici (a base di sostanze termoplastiche o polimeri). I vantaggi sono individuabili nell'elevato rendimento di fissazione, nella modesta richiesta di reagenti e nell'elevata densità del prodotto finale; gli svantaggi sono di ordine tecnico (complessità degli impianti), economico (elevata richiesta energetica e considerevoli costi dei reagenti e delle apparecchiature) e gestionale (necessità di manodopera specializzata).

Il processo di S/S con cemento/silicati si basa sul fenomeno di idratazione del cemento. Quando l'idratazione del cemento avviene in miscela con il rifiuto, l'inquinante è inglobato nella rete di gel e quindi nella matrice cementizia. Si ottiene un prodotto monolitico, a basso rapporto superficie/volume e a bassa permeabilità.

Nei trattamenti di S/S con cemento/silicati a base neutra il dosaggio dei reagenti avviene su rifiuti a pH neutro/basico. La S/S avviene secondo processi chimico–fisici di precipitazione, complessazione, adsorbimento,fissazione fisica.

Nei trattamenti di S/S con cemento/silicati a base acida il dosaggio dei reagenti avviene in fase liquida su rifiuti a pH fortemente acido. La S/S avviene secondo processi chimico–fisici di acidificazione, formazione dell'acido silicico monomero, polimerizzazione dell'acido silicico, cementazione.

[20] Environmental Protection Agency (U.S.A.)

Nei processi di S/S con calce il rifiuto è inglobato in una matrice cementizia realizzata con calce e materiali pozzolanici, che manifestano una grande affinità per lo scambio ionico. Possono essere impiegati materiali pozzolanici naturali (tufi vulcanici) o artificiali (argille cotte, scorie metallurgiche, ceneri volanti da combustibili vari etc.).

I processi di S/S con argilla si basano sulla spiccata attitudine allo scambio di cationi e sull'elevata superficie specifica di alcuni minerali argillosi, come la vermiculite e le montmorilloniti (tra cui la bentonite, di uso comune). L'aggiunta di un legante idraulico alla massa gelatinosa che si forma accresce la capacità di fissare gli ioni inquinanti del rifiuto.

Il materiale inertizzato risulta solido, chimicamente e fisicamente stabile, di consistenza simile a quella del terreno, in grado di riassorbire acqua senza apprezzabile rilascio.

2.12.2 Vantaggi e svantaggi dei processi di S/S

I principali vantaggi della tecnologia con cemento/silicati sono: disponibilità ed economicità del cemento e di altri additivi; presenza di una tecnologia di riferimento (quella del cemento) ampiamente consolidata; facile reperibilità delle apparecchiature necessarie; ampia variabilità chimica dei rifiuti trattabili; controllo delle proprietà del prodotto finale (resistenza, permeabilità e altre proprietà fisiche) variando i dosaggi di reagenti; possibilità di recupero di taluni materiali inertizzati.

I principali svantaggi della tecnologia con cemento/silicati, con calce e con calce e materiali pozzolanici sono: possibile attacco acido dell'inertizzato, con rilascio di inquinanti fissati, qualora il processo non sia gestito con una sufficiente quantità di basificante; eventuale necessità di pretrattamenti con cementi speciali o additivi costosi in presenza di inquinanti che interferiscono con la presa e la resistenza del cemento.

Tutti i trattamenti riportati ai punti K8, K9 e K10 portano ad un; aumento della massa finale del rifiuto da smaltire.

2.12.3 Parametri di processo di S/S

Le caratteristiche meccaniche e chimiche dei prodotti inertizzati dipendono dai parametri di processo, sia nella fase di miscelazione e reazione sia nella successiva fase di maturazione.

Tra i principali parametri che devono essere controllati vi sono la concentrazione dei reagenti, i tempi di mescolamento, il pH, la consistenza dell'impasto, i tempi di presa, il contenuto d'aria, le condizioni di temperatura e umidità in maturazione.

Nei processi di S/S la consistenza dell'impasto deve essere controllata regolando il contenuto d'acqua: maggiore è il rapporto acqua/cemento nell'impasto minore è la resistenza meccanica del prodotto ottenuto. Il rapporto deve essere mantenuto più basso possibile, anche con l'impiego di additivi fluidificanti. Il rapporto acqua/cemento deve essere limitato anche per evitare l'essudamento, fenomeno che consiste nella comparsa dell'acqua in eccesso sulla superficie del prodotto solidificato dopo un certo tempo dal trattamento.

Nei processi di S/S il tempo di presa, determinante sia ai fini della manipolazione dell'impasto sia per la corretta previsione della consistenza del prodotto finale, deve essere predefinito. Se il prodotto richiede trasferimenti o ulteriori manipolazioni si deve ricorrere ad apposite sostanze ritardanti. La presa deve essere invece accelerata nel trattamento di rifiuti con peso specifico diverso da quello dell'impasto, così da bloccare i rifiuti stessi all'interno della matrice ed omogeneizzare il prodotto.

Il contenuto di sostanze gassose dell'impasto deve essere tale da ottenere nel prodotto un volume di vuoti sufficiente per una buona resistenza meccanica ai cicli di gelo/disgelo. Un volume eccessivo può invece favorireil rilascio di elementi inquinanti nell'ambiente per lisciviazione. Nei processi di S/S, durante la maturazione, deve essere controllata la temperatura che tende ad innalzarsi come conseguenza delle reazioni esotermiche di idratazione. Essa deve essere contenuta entro valori prestabiliti e tali da evitare fenomeni di espansione e ritiro che diano origine a microfessurazioni nel prodotto indurito.

2.12.4 Effetti degli inquinanti sul processo di S/S

Nei processi di S/S le caratteristiche del prodotto finale (compattezza, resistenza meccanica, permeabilità etc.) possono essere alterate a causa di interferenze tra la matrice inertizzante e particolari inquinanti presenti nel rifiuto. Nel corso della caratterizzazione qualitativa dei rifiuti e delle prove preliminari di laboratorio devono essere individuati gli elementi o le sostanze che possono interferire su una corretta

inertizzazione. Tra questi vanno ricercati: i sali di metalli pesanti (l'entità dell'effetto ritardante è stata classificata per alcuni cationi metallici: Zn>Pb>Cu>Sn>Cd); il mercurio e altri metalli solubili a pH elevati; il Cr6+; alcune specie anioniche, quali borati, nitrati, solfati, cianuri, cloruri;gli inquinanti organici, quali fenoli e glicoli.

I principali fenomeni di interferenza delle sostanze inquinanti, che comportano

il rallentamento o l'inibizione dei normali processi di idratazione nella S/S, sono:

• l'adsorbimento entro i nuclei cristallini di elementi estranei al reticolo;

• la complessazione, e conseguente solubilizzazione, degli ioni alluminato ferrico da parte di agenti complessanti;

• la precipitazione di composti insolubili sulla superficie dei grani di emento, con limitazione del trasporto di acqua;

• l'elevata nucleazione dovuta all'inibizione della crescita di nuclei di drossido di calcio per l'adsorbimento di inquinanti sulla superficie.

La riduzione degli effetti negativi degli inquinanti nei processi di S/S sara' ottenuta col dosaggio di opportuni additivi, che in genere contribuiscono a loro volta al processo di immobilizzazione: silicati solubili,solfuri, materiali pozzolanici naturali (tufi vulcanici) o artificiali argille cotte, ceneri, polveri da fornace), alcuni agenti adsorbenti e assorbenti ome resine a scambio ionico, argille, carboni attivi, zeoliti, ermiculiti, terre diatomee, polimeri organici, altri additivi coperti da brevetto.

2.12.5 Dislocazione dell'impianto

L'impianto sara' posizionato in un capannone baricentrico rispetto ai due impianti di trattamento delle acque fortemente acide e delle acque a contenuto salino, che producono fanghi. Inoltre l'impianto di solidificazione e stabilizzazione sara' adiacente al capannone che fungera' da deposito dei fanghi in ingresso e del materiale solidificato e stabilizzato in uscita.

2.12.6 Provenienza dei fanghi

I principali settori produttivi di provenienza dei fanghi, rifiuti speciali non pericolosi, trattati dal Sistema Integrato sono:

• la lavorazione dei metalli: fanghi da neutralizzazione di bagni acidi di decapaggio; fanghi da trattamento di bagni alcalini di sgrassaggio; fanghi da trattamento di bagni di fosfatazione; fanghi da chiarificazione, acque da lavaggio; fanghi da abbattimento in cabina di verniciatura;

• il trattamento superficiale dei metalli: fanghi da trattamento di acque di lavaggio da cromatura, nichelatura, ramatura; residui da rigenerazione resine;

• i trattamenti chimici: residui solidi da bagni di nitrurazione; residui solidi da bagni di cementazione;

• le industrie metallurgiche: scorie di fusione; effluenti dalla flottazione di metalli; polveri da abbattimento fumi;

• le centrali elettriche e gli impianti di termoutilizzazione rifiuti: ceneri da combustione; scorie polveri da trattamento fumi;

• l'industria ceramica: fanghi da sedimentazione primaria; fanghi da chiarificazione acque; polveri da abbattimento fumi;

• le industrie fotografiche: bagni di sviluppo e stampa;

• le industrie tessili e le tintorie: residui da sedimentazione primaria; fanghi da impianti di depurazione;

• la produzione di acetilene: fanghi di idrossido di calce;

• l'industria estrattiva: scorie e fanghi di flottazione;

• la bonifica di terreni;

• il dragaggio di fanghi.

3 IL RECUPERO DEGLI SCARTI AGROINDUSTRIALI

I rifiuti agroindustriali e i fanghi dei depuratori biologici sono preventivamente sottoposti a digestione anaerobica. Gli scarti agroindustriali e i fanghi biologici sono posti in due distinti depositi intermedi che garantiscono la continua ed automatica adduzione nel digestore. Dal deposito intermedio, il materiale e' trasferito in un alimentatore dove e' trasformato in una miscela omogenea pompabile. Il substrato e', infine, pompato passando per gli scambiatori termici nel fermentatore orizzontale. Il processo di decomposizione all'interno del fermentatore e' basato su una fermentazione anaerobica termofila che avviene a una temperatura di circa 55 ºC. Il tempo di ritenzione all'interno del fermentatore e' all'incirca 14 giorni. Per ogni tonnellata di substrato inserito saranno generati in media 100 Nm^3 di biogas.

3.1 Il processo di digestione anaerobica

La digestione anaerobica consiste nella decomposizione di sostanze organiche biodegradabili, ad opera di opportuni microrganismi, in assenza di ossigeno disciolto e comporta la conversione di sostanze organiche complesse in composti più semplici, come metano, anidride carbonica e altri gas. Essa si contrappone alla ossidazione per via aerobica, che invece riguarda la biodegradazione in ambiente aerato e dunque in presenza di ossigeno. I responsabili delle attività di trasformazione anaerobica sono famiglie di batteri specifiche che operano in serie, intervenendo in sequenza nella decomposizione delle sostanze organiche con produzione finale di nuova biomassa e biogas. In effetti il processo può avvenire solo attraverso consorzi di popolazioni microbiche con un meccanismo per il quale i metaboliti prodotti da una famiglia, sono utilizzati dal ceppo dimicrorganismi a valle della catena degradativa. Tutte le reazioni di degradazione anaerobica avvengono attraverso la fase acquosa, che consente il trasferimento di nutrienti all.interno della cellula batterica e dei metaboliti all.esterno. Inoltre solo in presenza di acqua è possibile lo svolgimento delle reazioni chimiche all.interno e all.esterno della cellula batterica stessa. Il processo di digestione anaerobica avviene in differenti fasi:

- Fase idrolitica, durante la quale operano batteri che colonizzano le sostanze organiche complesse come le proteine, i grassi, gli oli, le cere e i carboidrati.

L'azione enzimatica di scissione dei materiali complessi, che si trovano in sospensione nella fase acquosa, determina la formazione di sostanze solubili (idrolisi) e assimilabili dai microrganismi.

- Fase fermentativa o acidogena, durante la quale i composti organici complessi sono convertiti prima in monosaccaridi, amminoacidi e acidi grassi a catena lunga, e successivamente in composti più semplici quali acidi volatili, alcoli, ammoniaca, idrogeno e anidride carbonica.

- Fase di acetogenesi. I batteri acetogeni trasformano gli acidi grassi e gli alcoli derivanti dalla fase precedente, in acido acetico.

- Fase di metanogenesi, durante la quale si forma gas metano attraverso due meccanismi differenti. Batteri idrogenofili formano metano mediante l'assimilazione di idrogeno molecolare e anidride carbonica disciolti espellendo come prodotto di catabolismo, gas metano. Contemporaneamente batteri acetotrofi decompongono l'acido acetico e l'acido formico in metano e anidride carbonica.

L'intero processo di biogassificazione, suddiviso nelle quattro fasi temporali descritte converte dunque il substrato organico gassificabile in metano e anidride carbonica, quali principali costituenti del biogas di digestione.

A causa delle reazioni di riduzione biochimica che riguardano molecole complesse come le proteine, contenenti anche zolfo e azoto, si formano, come componenti di minore importanza, ma comunque presenti nel biogas, anche idrogeno solforato e ammoniaca.

3.1.1 La produzione di metano

I consorzi batterici, che operano per lo svolgimento delle fasi e che si succedono per la produzione di metano, soprattutto i batteri metanigeni, richiedono condizioni ambientali favorevoli: valori di pH compresi in un intervallo ristretto, rapporti ponderali tra i nutrienti, concentrazioni tollerabili di sostanze chimiche in soluzione. La diminuzione o il blocco dell.attività metanigena conducono ad un accumulo di acidi, i quali, se non adeguatamente tamponati, conducono alla diminuzione del pH e un.ulteriore deperimento dell.attività metanigena.

I fattori che maggiormente influenzano la produzione di metano sono molteplici.

- Il pH migliore per i batteri metanigeni è quello debolmente alcalino, o comunque compreso tra 6,5 e 7,5.

- La temperatura è un fattore molto importante per lo svolgimento della digestione anaerobica.

I microrganismi, in funzione della temperatura ottimale di crescita, sono suddivisi in psicrofili (15-20°C), mesofili (attorno ai 35°C), termofili (tra i 55 e i 60°).

I batteri metanigeni presentano un massimo di crescita nella regione mesofila ed in quella termofila. Per questa motivazione i processi di digestione anaerobica sono più veloci in queste due condizioni di funzionamento e dunque richiedono tempi di residenza idraulica ridotti.

Le condizioni di funzionamento mesofile, rispetto alle termofile, presentano però alcuni vantaggi quali la minore sensibilità dei batteri alle variazioni di temperatura e richieste energetiche minori per il riscaldamento della biomassa da digerire.

- Richiesta di nutrienti. I rapporti C/N e C/P sono più elevati rispetto a quelli richiesti per l'attività aerobica, l.importanza di dosare quantità di azoto e fosforo al processo riveste un ruolo meno importante per la degradazione anaerobica: molti substrati alimentati presentano già abbondanza di nutrienti. A volte, in presenza di alcuni substrati vegetali, il rapporto C/N risulta basso, provocando la formazione di un.altaconcentrazione di composti di ammonio, tra cui ammoniaca, tossica per i batteri metanigeni. Il controllo dell.alcalinità permette la stabilità del processo applicato a composti con basso rapporto C/N.

La presenza di zolfo è indispensabile per l'equilibrio del processo, nel quale sono coinvolti pure elementi presenti in traccia quali potassio, calcio, magnesio, ecc. i sali nutritivi necessari per l.abbattimento anaerobico e gli oligoelementi sono presenti, di norma, in concentrazione sufficiente e non hanno bisogno di aggiunte.

- La quantità di lignina e di chitina contenute nel substrato da degradare influenzano la velocità di decomposizione e dunque la produzione di biogas. Il grado di idrolisi e dunque la trasformazione in metano decrescono all'aumentare della lignina.

- La pezzatura del rifiuto alimentato in digestione deve essere molto fine. L'efficacia di trasformazione è fortemente condizionata dalla possibilità di attacco batterico sulla superficie dei vari materiali, che aumenta al ridursi della pezzatura.

- La presenza di sostanze tossiche può inibire il processo di decomposizione, danneggiando la struttura e le funzioni dei batteri fino a provocarne la morte. Altre sostanze risultano stimolanti nella crescita batterica: raggiunto il valore massimo di stimolo, il loro effetto comincia a diminuire, finché ad elevate concentrazioni risultano avere effetto tossico.

Quando il processo è avviato, la stabilizzazione della sostanza organica si accompagna alla produzione di biogas, costituito da un contenuto di metano compreso tra il 50% e il 70% in volume e per il 25%-45% da anidride carbonica. Costituenti minori sono l'azoto, l'idrogeno solforato e l'idrogeno. In funzione della composizione i valori di potere calorifico sono compresi tra 4.500 e 6.000 kcal/mc.

3.1.2 La trasformazione della sostanza organica

Le principali trasformazioni indotte dalla digestione anaerobica sulle caratteristiche dei rifiuti organici sono:

- Diminuzione della putrescibilità e conseguente stabilizzazione.
- Miglioramento delle caratteristiche igieniche.
- Diminuzione della percentuale di solidi volatili.

I diversi schemi di trattamento anaerobico del rifiuto organico si possono suddividere in base alla modalità di caricamento del digestore, alla separazione o meno delle diverse fasi del processo e alla concentrazione della biomassa.

Il caricamento dei digestori anaerobici sara' semicontinuo. La scelta della tecnologia .ad umido e' stata fatta poiche' ha raggiunto oggigiorno un alto livello di maturità presentando dei vantaggi rispetto alla tecnologia .a secco. quali la possibilità di una selezione ad umido del rifiuto organico alimentato, contestualmente con la sua miscelazione in acqua, e una accelerazione dei tempi di svolgimento della reazione di idrolisi, che rappresenta la prima reazione di degradazione anaerobica dalla quale dipendono le altre.

3.2 LA DIGESTIONE AEROBICA

In seguito al processo di fermentazione anaerobica, il fango digerito (circa il 50% della massa iniziale di materiale trattato) é inviato alla sezione di centrifugazione allo scopo di ridurre l'umidità del materiale da inviare al compostaggio. In conseguenza di tale trattamento, si ottiene una sostanza organica con un tenore

di secco pari al 20%. Poi il digestato e' filtropressato al fine di ottenere un'ulteriore riduzione del contenuto di acqua.La frazione liquida che si ottiene (circa il 40% del volume totale) costituisce un eccezionale fertilizzante liquido utilizzabile in agricoltura.Il digestato deumidificato e' invece inviato agli impianti di compostaggio esterno per ottenere il compost di qualità'.

La seguente tabella mostra la convenienza della scelta progettuale (digestione anaerobica+digestione aerobica) rispetto a quella usuale di trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani (sola digestione aerobica).

Parametro	Unitá di misura	Processo anaerobico	Processo aerobico
Produzione di biogas	m^3/ton.	100 ÷ 200	
Solidi residui, su base TS	%	50 ÷ 60	50
Produzione di compost	Kg/ton	200 ÷ 300	300 ÷ 400
Produzione di energia	KWh/ton	100 ÷ 250	-70 ÷ -90
Acque reflue	m^3/ton	1 ÷ 0,2	
Aria per fermentazione	m^3/ton		3.600 ÷10.000
Aria per stabilizzazione	m^3/ton	800 ÷ 1.700	800 ÷ 1.700

Tabella n.19 – Confronto fra digestione anaerobica+aerobica e sola digestione aerobica

3.3 IMPIANTO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

3.3.1 Le tecnologie disponibili

Il processo *wet* è stato il primo ad essere utilizzato nel trattamento della frazione organica dei rifiuti urbani dal momento che sfruttava le conoscenze acquisite in decenni di attività del processo di digestione anaerobica dei fanghi di supero negli impianti di trattamento acque reflue.

Nei processi di tipo wet il rifiuto di partenza viene opportunamente trattato e diluito al fine di raggiungere un tenore in solidi totali inferiore al 10% attraverso il ricorso a diluizione con acqua così da poter poi utilizzare un classico reattore completamente miscelato del tipo applicato alla stabilizzazione dei fanghi biologici negli impianti di depurazione. In generale, il processo prevede, dopo la fase di pre-trattamento del rifiuto, finalizzata alla rimozione di plastiche ed inerti e di corpi grossolani che potrebbero danneggiare gli organi meccanici del reattore, uno stadio di miscelazione in cui si ottiene una miscela con caratteristiche omogenee e l'opportuno contenuto in solidi. La diluizione può avvenire tramite aggiunta di acqua di rete o dal parziale ricircolo dell'effluente del reattore.

A causa delle caratteristiche fisiche dei rifiuti trattati non è solitamente possibile ottenere una miscela omogenea e pertanto si osserveranno all'interno del reattore tre fasi separate, caratterizzate da distinte densità. La frazione più pesante tenderà ad accumularsi sul fondo del reattore e può determinare danni nel sistema di miscelazione se il rifiuto trattato non è sufficientemente pulito, mentre materiali leggeri e schiume si accumulano nella parte superiore del reattore.

La fase a densità intermedia è quella in cui avvengono per lo più le effettive reazioni di degradazione e produzione del biogas. Nella gestione dell'impianto sono generalmente previste saltuarie rimozioni sia dello strato più pesante, presente sul fondo del reattore, che di quello leggero. Uno dei problemi che può essere connesso con la digestione anaerobica ad umido consiste nella corto-circuitazione idraulica del reattore: cioè, il flusso di materiale entrante, non perfettamente miscelato con il materiale già presente nel reattore, fuoriesce con tempi di ritenzione ridotti rispetto a quelli previsti da progetto. Ciò, oltre a determinare una minore degradazione del substrato trattato, e quindi una minor produzione di biogas, può determinare problemi di igienizzazione dei fanghi effluenti. Per questo motivo alcuni brevetti prevedono uno step di pastorizzazione dell'effluente dal reattore di digestione.

I tipici vantaggi e svantaggi dei processi di digestione ad umido, evidenziati in anni di applicazione, sia dal punto di vista tecnologico, biologico che economico/ambientale, sono riportati nella tabella seguente.[21] .

[21] Vandevivere et al., 2001

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	o Buona conoscenza ed esperienza nel campo del processo. o Applicabilita' in co-digestione con rifiuti liquidi ad alto contenuto in sostanza organica.	o Cortocircuitazione idraulica; o Fasi separate di materiale galleggiante e pesante; o Abrasione delle parti meccaniche dovuta alla presenza di sabbie ed inerti; o Pre-trattamenti di preparazione del rifiuto complessi.
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione del substrato e/o sostanze tossiche influenti il reattore	o Forte sensibilita' ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici variabili che entrano in contatto intimo con la biomassa. o Perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso dei pre-trattamenti.
Economico ed ambientale	Spese ridotte per i sistemi di pompaggio e miscelazione, ampiamente diffusi sul mercato.	o Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per i pretrattamenti e per i volumi dei reattori. o Produzione di elevate quantita' di acqua di processo.

Tabella n.20 – Vantaggi e svantaggi dei processi Wet

Il processo *semi-dry* nasce nel corso degli anni 80 da una collaborazione tra l'Università di Venezia e la SNAM Progetti[22].

In questo caso il contenuto di sostanza solida che caratterizza il rifiuto trattato si pone nell'intervallo intermedio rispetto ai processi *wet* e *dry*: opera infatti con rifiuti con un contenuto in solidi del 15-20%. Dal punto di vista impiantistico la soluzione adottata è quella di un reattore miscelato (*CSTR*) che può operare tanto in regime mesofilo che termofilo. Il rifiuto organico proveniente da raccolta differenziata presenta caratteristiche che sono generalmente ottimali per l'applicazione diretta del processo, ricorrendo solamente a semplici pre-trattamenti di pulizia del rifiuto con eliminazione del materiale ferroso e di quello inerte grossolano seguito da triturazione e miscelazione. Operando invece con rifiuti organici derivanti da raccolta indifferenziata con un elevato contenuto di sostanza solida, e derivanti dalla separazione meccanica di RU indifferenziato, è necessario procedere ad un pre-trattamento di pulizia del rifiuto piuttosto spinto e poi a diluizione del rifiuto con acqua, che potrà essere, di volta in volta, acqua di processo riciclata, o acqua fresca.

Nel caso in cui un impianto tratti rifiuto indifferenziato sarà necessaria ovviamente una filiera di pre-trattamento per la separazione della frazione organica da inviare ai digestori anaerobici. Lo schema di pre-trattamento prevede diversi passaggi e può essere anche complesso. Ciò comporta inevitabilmente la perdita di parte del materiale organico biodegradabile, che può arrivare al 15-25% in termini di sostanza volatile[23] .

La linea di pre-trattamento dovrà poi provvedere ad una opportuna purificazione del rifiuto in maniera da eliminare i rifiuti inerti quali metallo, sassi, vetro e sabbie che darebbero problemi agli organi di miscelazione nel reattore.

Anche in questo processo, come nei processi di tipo wet, si osserva la formazione di tre fasi distinte all'interno del reattore, anche se, in generale, il fenomeno è meno accentuato. Sarà comunque necessario prevedere, di tanto in tanto, lo svuotamento e la pulizia del fondo del reattore.

Il sistema di miscelazione è generalmente garantito da miscelatori meccanici che possono essere coadiuvati da lance a gas che provvedono a ricircolare il biogas prodotto per incrementare l'efficienza di miscelazione[24]. Può essere inoltre previsto il ricircolo del materiale presente nel digestore inviato alla caldaia e poi reimmesso nei digestori[25] . I principali vantaggi e svantaggi del processo semi-dry sono richiamati in tabella 12.

[22] *Bassetti et al., 1991*.
[23] *Farneti et al. 1999*
[24] *Cozzolino et al., 1992*
[25] *Farneti et al., 1999*

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	o Possibilitá di tratatre il rifiuto della raccolta differenziata senza particolari trattamenti. o Semplicita' dei sistemi di pompaggio e miscelazione/	o Accumulo dei materiali inerti sul fondo del reattore e necessita' di scaricarli. o Abrasione delle parti meccaniche. o Pre-trattamenti complessi per rifiuto urbano indifferenziato.
Biologico	Diluizione dei picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche.	o Sensibilita' ad eventuali shock per la presenza di sostanze inibitorie e carichi organici. o Perdita di sostanza volatile biodegradabile nel corso del pre-trattamento del rifiuto indifferenziato.
Economico ed ambientale	Spese ridotte per sistemi di pompaggio e miscelazione.	o Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per i pre-trattamenti e per i volumi dei reattori. o Produzione di elevate quantita' di acque di processo.

Tabella n.21 – Vantaggi e svantaggi del processo semi dry[26]

Il principale vantaggio economico di questo tipo di processo consiste nella possibilità di ricorrere a mezzi di pompaggio e miscelazione ampiamente diffusi sul mercato e quindi disponibili a basso costo. Per contro, devono essere previsti maggiori costi di investimento per la fase di pre-trattamento, specialmente se il rifiuto viene conferito tal quale all'impianto. Le volumetrie del reattore sono minori rispetto ai sistemi wet ma comunque superiori a quelle dei sistemi dry.

Complessivamente, quindi, i costi di investimento per i sistemi semi-dry e dry risultano confrontabili. Dal punto di vista ambientale un problema può essere dovuto all'acqua eventualmente necessaria per diluire rifiuti organici con concentrazioni di sostanza secca superiore al 20-25% TS. La necessità di aumentare i volumi trattati con acqua determina maggiori spese per il riscaldamento del flusso entrante e per il mantenimento del reattore alla temperatura desiderata. L'energia ed il calore prodotti dalla combustione del biogas sono comunque più che sufficienti all'autosostentamento energetico del reattore.

3.3.2 Il processo *Dry*

Nel corso degli anni ottanta varie sperimentazioni dimostrarono come fosse possibile ricorrere a processi in cui il rifiuto organico veniva trattato nella sua forma originale, senza bisogno di diluizioni. Quindi, mentre prima gli impianti di digestione anaerobica erano esclusivamente di tipo *wet*, nell'ultimo decennio si è osservata la crescita del sistema *dry*, e le nuove realizzazioni sono oggi equamente ripartite tra queste due tecnologie, con prevalente crescita del processo *dry*. [27]

Nei processi *dry* il tenore in solidi del rifiuto alimentato al digestore è generalmente nell'intervallo 25-40% e pertanto solamente particolari rifiuti con elevato tenore di solidi (>50%) necessitano di essere diluiti con acqua per poter essere convenientemente trattati.[28]. Ciò non comporta significative variazioni dal punto di vista biochimico e microbiologico nel processo anaerobico ma determina la necessità di una completa revisione dei metodi di trattamento per quanto concerne la tecnologia dei reattori. Sono infatti necessari particolari metodi di pompaggio e miscelazione. Infatti, a causa delle proprietà reologiche dei flussi trattati, il materiale organico viene trasportato con nastri e pompato attraverso il ricorso a speciali pompe appositamente progettate per operare con flussi molto viscosi.

Ciò incide sui costi di realizzazione di questo tipo di impianti. Questi sistemi sono in grado di operare con flussi di materiale molto concentrati e resistono ai possibili problemi causati da sassi, vetro o legno che non causano inceppamenti o danni. L'unico pre-trattamento richiesto è una preliminare vagliatura al fine di rimuovere il materiale con dimensioni superiori ai 40 mm.

Ciò è ottenuto grazie a vagli a tamburo nel caso di rifiuto organico separato meccanicamente, e mediante trituratori nel caso di rifiuto organico raccolto separatamente alla fonte. Dal momento che i pre-trattamenti sono limitati non si osserva perdita di materiale organico biodegradabile come può invece avvenire nel corso

[26] CITEC, 2000
[27] De Baere, 2000
[28] Oleskiewicz e Poggi-Varaldo, 1997

dei pre-trattamenti per materiale da trattare con processi *wet* e *semi-dry*. A causa della elevata densità e viscosità dei flussi trattati i reattori per il trattamento dry non sono del tipo completamente miscelato (*CSTR*) ma con flusso parzialmente o totalmente a piste (*plug-flow*): ciò rende i reattori più semplici dal punto di vista meccanico ma comporta problemi di miscelazione tra il rifiuto organico fresco e la biomassa fermentante. La risoluzione di questo problema è fondamentale per evitare fenomeni localizzati di sovraccarico organico ed eventuale acidificazione che porterebbe ad inibizione del processo metanigeno.

Il fatto di operare con flussi molto densi porta inoltre al superamento del problema della suddivisione di tre fasi distinte all'interno del reattore, come poteva invece avvenire nei processi wet e semi-dry. Le principali tecnologie presenti sul mercato ed i processi adottati per questo tipo di rifiuti si differenziano essenzialmente per la fluidodinamica del reattore utilizzato. La figura seguente riporta alcune possibili soluzioni impiantistiche[29].

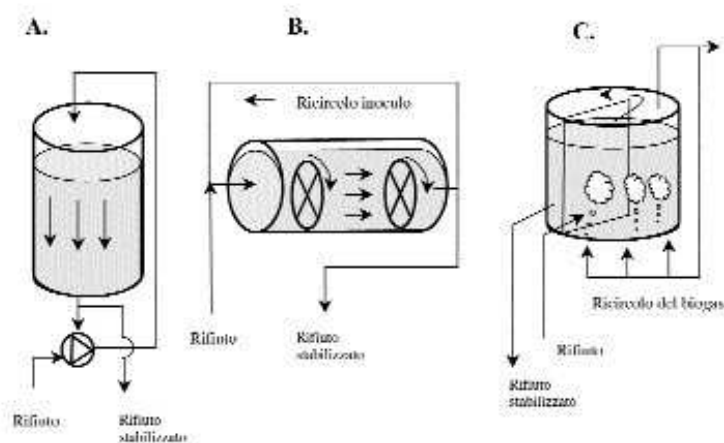



Figura n.21 – Differenti tipologie di reattori nei sistemi dry

Nel processo *Dranco* la miscelazione tra rifiuto influente e biomassa avviene grazie al ricircolo dell'effluente estratto dal fondo dal digestore anaerobico che viene pompato nella parte superiore del reattore stesso: il tipico rapporto di ricircolo è una parte di rifiuto fresco per sei parti di effluente ricircolato. Questo tipo di processo ha dimostrato di operare con efficacia con rifiuti con un tenore in solidi nell'intervallo 20-50%. Il processo Kompogas utilizza un reattore cilindrico in cui il flusso a piste prosegue orizzontalmente.

Il moto di avanzamento del materiale trattato è assistito da miscelatori a lenta rotazione posti internamente al reattore che omogeneizzano il materiale trattato, lo degasano, e risospendono il materiale inerte grossolano. Il sistema ha dimostrato di operare con buona efficienza quando il rifiuto trattato presenta concentrazioni in solidi del 25%: per valori inferiori si è osservata la tendenza all'accumulo di materiale inerte grossolano (sabbie e vetro) sul fondo del reattore, mentre per concentrazioni maggiori si osserva una eccessiva resistenza al flusso orizzontale del materiale all'interno del reattore.

Un altro processo dry, diffuso in centro Europa, è il *processo Valorga*. Anche in questo caso si ricorre a reattori di forma cilindrica in cui il flusso a piste del materiale trattato è di tipo circolare e la miscelazione avviene grazie all'iniezione di biogas dal fondo del reattore attraverso una serie di iniettori ogni 15 minuti circa[30].

La miscelazione sembra avvenire con notevole efficacia dal momento che il ricircolo di parte dell'effluente si è dimostrato non necessario. D'altra parte gli iniettori di biogas, a causa della loro posizione, possono essere soggetti a problemi di intasamento. Come nel caso del processo *Kompogas* c'è la necessità di ricircolare l'acqua di processo al fine di raggiungere una concentrazione di sostanza solida del 30% nel rifiuto da trattare. Per contro, concentrazioni più basse, fino al 20% TS, determinerebbero seri problemi di accumulo di materiale inerte sul fondo del reattore[31].

---

[29] Vandevivere et al., 2001

[30] Fruteu de Laclos et al., 1997

[31] Fruteu de Laclos et al., 1997

Dal punto di vista economico si evidenzia come nel caso dei processi di tipo dry gli elevati costi di investimento iniziale sono dovuti alla necessità di dotarsi di sistemi di trasporto e pompaggio del rifiuto organico da trattare che siano particolarmente resistenti e tecnologicamente avanzati. Per contro, operando con rifiuti ad elevata concentrazione di sostanza solida, non sono necessari pre-trattamenti particolarmente raffinati ed i volumi dei reattori necessari sono ridotti: quindi le spese di costruzione dei reattori sono minori rispetto ai processi *wet* e *semidry*.

La ridotta dimensione del reattore si ripercuote poi favorevolmente, in fase di esercizio, sul bilancio energetico dello stesso, dal momento che è necessario riscaldare una minor quantità di rifiuto da trattare. Una differenza fondamentale tra i processi di tipo dry e quelli di tipo wet o semi-dry consiste nel ridotto utilizzo, nel caso di processi dry, di acqua per la diluizione dei rifiuti.

Ne consegue che la quantità di acqua di scarico sarà ridotta ed una migliore igienizzazione del prodotto finale[32]. I principali vantaggi e svantaggi dei processi *dry* sono richiamati in tabella n.13.

3.3.3 Prestazioni del processo *Dry*

Uno dei maggiori problemi connessi ai processi di tipo *dry* può essere rappresentato dal rischio di squilibrare il processo verso la fase acidogenica, a causa degli elevati carichi organici applicati ai reattori, quando la frazione organica è caratterizzata da un elevato grado di biodegradabilità.

Il livello del problema resta comunque confrontabile con quello riscontrabile in processi wet o semi-dry, se condotti con procedure inopportune. E' comunque documentata[33] la capacità dei sistemi *dry* di resistere senza alcun problema ad instabilità del processo di digestione. Inoltre non si osserva[34] inibizione da accumulo di ammoniaca nel processo termofilo *Dranco* per rifiuti che abbiano un rapporto carbonio/azoto maggiore di 20.

In generale, comunque, la stabilità, rispetto ad elevate concentrazioni di ammoniaca nel reattore è stata ampiamente dimostrata nelle operazioni in piena scala: l'impianto di Tillburg (Olanda) che opera con tecnologia *Valorga* in regime mesofilo (40 °C), dimostra di sopportare (operando con il massimo OLR applicabile) concentrazioni di ammoniaca fino a 3 g/l[35], mentre il processo Dranco in regime termofilo (52 °C) resta stabile con concentrazioni di ammoniaca fino a 2.5 g/l. Questi valori possono essere ben sopportati anche nei processi *wet* e *semi-dry*.

Una delle possibili spiegazioni per la capacità dei sistemi dry di sopportare shock derivanti da carichi di ammoniaca risiede probabilmente nel fatto che la miscelazione non perfetta e non omogenea, tipica di questi processi, sottopone solo una parte della biomassa metanigena, in zone limitate del reattore, a queste condizioni di stress.

I diversi sistemi oggi operanti sul mercato sembrano comportarsi in maniera similare dal punto di vista delle rese di processo: la produzione di biogas varia nell'intervallo 90-150 m^3/t di rifiuto. Il valore più basso corrisponde a rifiuti di giardinaggio e verde pubblico, mentre il valore più elevato fa riferimento a rifiuto organico di origine alimentare[36] .

Queste rese sono equivalenti a 210-300 m^3CH_4/tVS con percentuali di rimozione della sostanza volatile nell'intervallo 50-70%.

La percentuale di sostanza volatile rimossa è quindi simile a quella ottenibile con processi wet [37]e semi-dry [38] che rientrano nell'intervallo 40-70%.

La differenza più significativa tra i diversi processi dry, e tra i sistemi dry e quelli wet e semi-dry, è invece osservabile in termini di carico organico applicato ai reattori (OLR) ed ai suoi massimi valori raggiungibili.

---

[32] Baeten and Verstraete, 1993
[33] Oleskiewicz e Poggi-Varaldo,1997
[34] Six e De Baere, 1992
[35] Fruteu de Laclos et al., 1997
[36] Fruteu de Laclos et al., 1997; De Baere, 2000
[37] Weland, 1992
[38] Pavan et al., 2000

Criterio	Vantaggi	Svantaggi
Tecnologico	o Nessun bisogno di miscelatori interni al reattore. o Robustezza e resistenza ad inerti pesanti e plastiche o Nessuna corto circuitazione idraulica	Rifiuti con basso tenore in sostanza solida (<20% TS) non possono essere trattati da soli.
Biologico	o Bassa perdita di sostanza organica biodegradabile nei pre-trattamenti. o Elevati OLR applicabili. o Resistenza a picchi di concentrazione di substrato o sostanze tossiche.	o Minima possibilita' di diluire sostanze inibitorie. o Carichi organici eccessivi con acqua fresca.
Economico	o Pre-trattamenti minimi e piu' economici. o Ridotti volumi dei reattori. o Ridotto utilizzo di acqua fresca. o Minime richieste di riscaldamento del reattore.	Elevati costi di investimento a causa degli equipaggiamenti utilizzati per il trattamento.

Tabella n.22 – Vantaggi e svantaggi dei processi dr[39]y

E' infatti possibile operare con carichi organici prossimi ai 10 kgVS/m^3 d.. La tabella seguente riporta i tipici valori di esercizio e le rese dei processi dry.

Parametro di processo	Intervallo
Solidi nel rifiuto trattato (%TS)	25-40
Carico organico (KgVS/m^{3}d)	8-10
Tempo di rimozione idraulica (d)	25-30
Rese di processo	
Produzione biogas (m^3/ton. di rifiuto)	90-150
Produzione specifica di biogas (m^3/KgVs)	0,2-0,3
Velocita' di produzione di biogas (m^3/m^{3}d)	2-3
Contenuto di metano (%CH_4)	50-60
Riduzione della sostanza volatile (%)	50-70

Tabella n.23 – Intervalli tipici dei parametri operativi e delle rese del processo dry

3.3.4 Il processo Kompogas

Il processo *Kompogas*, della Kompogas GmbH (Svizzera), è un sistema integrato di trattamento del rifiuto organico: qui il rifiuto organico proveniente da raccolta differenziata e' preliminarmente ripulito da eventuali corpi inerti e poi sminuzzato prima dell'invio al digestore anaerobico, dove arriva con un tenore in solidi nell'intervallo 25-40% TS.

Il reattore opera in regime termofilo (55 °C) ed è posto orizzontalmente (vedi figura n.22). L'effluente del digestore è quindi inviato ad una pressa dove la parte solida (*fresh compost*) è inviata al compostaggio mentre la parte liquida è trattata con un processo a due fasi meccanico-biologica che la rende direttamente utilizzabile in agricoltura come fertilizzante. La tabella seguente riassume i parametri operativi e le rese delle attività sperimentali condotte in un reattore pilota da 15 m^{33} operante in regime termofilo (55 °C) [40].

[39] Fonte : Vendervivere et al., 2001

[40] Wellinger et al., 1992

Parametro operativo	Unita' di misura	1	2	3
Rifiuto trattato	Ton/anno	3.000		
Solidi volatili	% TS	76	54	52
Solidi totali	%	42	38	40
Tempo di ritenzione idraulica	giorni	-40	26	17
Carico organico	Kg VS/ m^3 giorno	7,2	8,2	11,1
Rese di processo				
Produzione di biogas	Nm^3/giorno	40	40	54
Velocitá di produzione del biogas	m^3/m^3 giorno	2,7	2,7	3,6
Produzione specifica biogas	m^3/KgVS	0,37	0,33	0,32
Contenuto di metano	%	63	59	62
Solidi rimossi	%	35	24	22

Tabella .24 – Parametri operativi e rese del processo Kompogas in scala pilota

In Svizzera dal 1992 è stata avviata la prima sperimentazione industriale del processo Kompogas che è in grado di trattare per mezzo di un digestore da 200 m^3 circa 3.000 t/anno di frazione organica da raccolta differenziata. Tale processo utilizza, in una prima fase, un reattore orizzontale mantenuto alla temperatura di 55°C in grado di degradare materiali con alto contenuto in solidi (25-40 %TS). L'effluente viene poi trattato per produrre compost e fertilizzanti. Attualmente la soluzione impiantistica adottata è quella di più reattori operanti in parallelo ciascuno con una capacità di trattamento nell'intervallo 15.000-25.000 tonnellate/anno[41]

	Unita' di misura	Salisburgo	Brecht
Parametro operativo			
Rifiuto trattato	Ton/anno	20.000	20.049
Contenuto in solidi	% TS	31	40
Temperatura del reattore	ºC	55	55
Tempo di ritenzione idraulica	giorni	-	15,3
Carico organico	Kg VS/ m^3 giorno	10	14,9
Rese di processo			
Produzione di biogas	Nm^3/ton	135	102,5
Velocitá di produzione del biogas	m^3/m^3 giorno	4	9,2
Produzione specifica biogas	m^3/KgVS	0,36	0,25 ÷ 0,30
Contenuto di metano	%	-	55
Solidi rimossi	%	29	23

Tabella n.25 – Parametri operativi e rese degli impianti di Salisburgo e Brecht

I tempi di trattamento complessivi sono di circa un mese, così ripartiti tra le diverse fasi di processo:
1) preparazione e macinazione del rifiuto selezionato alla fonte: circa 3 giorni;
2) digestione anaerobica in termofilia: HRT circa 20 giorni;
3) compostaggio aerobico dell'effluente del digestore: circa 10 giorni.

[41] Thurm e Schmid,1999.

Durante questo periodo si ricavano 80-140 m^3 di biogas per tonnellata di rifiuto trattato e un compost utilizzabile per fini agronomici con un contenuto in solidi del 35%. Tale tecnologia è ora largamente applicata su tutto il territorio svizzero ed é anche esportata in Germania. Dal 1992 al 2000 sono stati realizzati in Svizzera e Germania 14 impianti con una potenzialità media di 10.000 t/anno. Al momento attuale le comunità servite su territorio svizzero con questo tipo di processo sono 37, per un totale di 262.148 abitanti serviti ed una potenzialità complessiva annuale di 43.500 tonnellate di frazione organica selezionata[42]. Si tratta quindi, generalmente, di impianti di piccole dimensioni, adatti a servire anche piccoli bacini di utenza, quali quelli delle comunità montane.

L'applicazione della digestione anaerobica al trattamento dei rifiuti consente sia di conseguire un notevole recupero energetico, utilizzando il biogas prodotto, sia di produrre, attraverso il trattamento aerobico del fango digerito, un residuo stabilizzato impiegabile come ammendante organico in agricoltura o per ripristini ambientali.

L'aspetto del recupero energetico è senza dubbio quello più interessante, in quanto il biogas prodotto, costituito per la maggior parte da metano (circa il 50-60%), ha un elevato potere calorifico (4000-5000 kcal/Nm^3) e pertanto può essere convenientemente convertito in quasi tutte le forme di energia utili: calore, elettricità e cogenerazione (produzione congiunta di elettricità e calore). Le applicazioni più frequenti prevedono la sua combustione in motori endotermici, che consente la produzione di energia elettrica e termica in quantità sensibilmente superiore agli autoconsumi dell'impianto, utilizzando apparecchiature dotate di elevata semplicità impiantistica e gestionale.

Figura n.22 - Fermentatore

Un impianto di capacitá annua di 10.000 ton/anno ha il bilancio energetico riportato nella seguente tabella.

	Unitá di misura	**Quantitá**
Produzione energetica		
Produzione totale di biogas	Nm^3/anno	1.054.000
Produzione elettrica totale	KWh/anno	2.078.000
Produzione di calore totale	KWh/anno	3.240.000
Consumo energetico dell'impianto		
Consumo di elettricitá	KWh/anno	290.000
Consumo di calore	KWh/anno	1.650.000
Surplus energetico		
Surplus di elettricitá	KWh/anno	1.788.000
Surplus di calore	KWh/anno	1.320.000

Tabella n.26 – Esempio di bilancio energetico di impianto Kompogas

[42] Thurm et al., 1999

Il rinnovato interesse verso questa tecnologia è in parte dovuto allo sviluppo di alcuni brevetti che consentono di operare con concentrazioni di solidi in alimentazione ai digestori, variabili tra il 15 ed il 35%, valori questi decisamente superiori a quelli comunemente utilizzati nei tradizionali reattori impiegati per il trattamento dei fanghi prodotti dagli impianti di depurazione, valutabili nell'ordine del 5-8%.

Tali concentrazioni permettono di conseguire rendimenti elevati sia in termini di quantità di rifiuti trattabili e contrazione dei tempi di permanenza, che di produzione di biogas, con conseguente riduzione dei costi di investimento e dei fabbisogni energetici per il riscaldamento dei digestori e per la disidratazione dei fanghi digeriti. Nei paragrafi successivi verranno illustrati i principali reparti di un impianto di digestione anaerobica dei rifiuti, sia indifferenziati sia provenienti da raccolta selezionata dell'organico, anche eventualmente in codigestione con fanghi da depurazione civile.

Le tipiche prestazioni ottenibili negli impianti di maggiori dimensioni sono riportate nella tabella seguente[43].

Parametro	**Unitá di misura**	**Quantitá**
Rifiuto organico trattato	Ton/anno	20.000
Produzione di biogas	m^3/giorno	8.000
Produzione di compost	m^3/giorno	25 ÷ 30
Energia prodotta	KWh/giorno	46.000
Energia consumata in impianto	KWh/giorno	10.500
Energia venduta	KWh/giorno	10.500
Calore consumato in impianto	KWh/giorno	7.000
Calore venduto	KWh/giorno	18.500

Tabella n.27 – Tipiche prestazioni del processo Kompogas applicato in scala reale

3.4 DESCRIZIONE DEI REPARTI DELL'IMPIANTO

L'impianto di recupero degli scarti agroindustriali può essere schematicamente suddiviso in tre sezioni principali in cui si possono individuare i seguenti reparti:

Sezione 1

- ricezione
- pretrattamento

Sezione 2

- preparazione substrato
- digestione anaerobica
- produzione di energia
- disidratazione
- biossidazione accelerata

Sezione 3

- post-maturazione
- raffinazione
- stoccaggio prodotti.

Dal reparto ricezione i rifiuti sono alimentati al reparto pretrattamento, nel quale sono sottoposti ad una serie di operazioni atte a consentire l'eliminazione delle componenti indesiderate per la successiva fase di digestione anaerobica, quali ad esempio inerti e plastiche. La sequenza e la tipologia delle operazioni di pretrattamento dipenderà sia dalla natura del rifiuto in ingresso sia dalle caratteristiche del processo di digestione che verrà adottato.

[43] Levasseur, 1999

I rifiuti così pretrattati sono avviati al reparto preparazione del substrato dove subiscono una omogeneizzazione, viene regolato il loro contenuto di umidità attraverso miscelazione con acqua di ricircolo o fanghi ed eventualmente viene eseguita una correzione della temperatura, in modo da ottenere una miscela con caratteristiche chimico-fisiche ottimali per poter essere alimentata nei digestori.

La vista prospettica, la planimetria, i parametri urbanistici, la disposizione e codifica dei depositi di questo impianto sono riportati nei fogli 10, 11, 12 e 13 allegati al progetto,

3.4.1 Ricezione dei rifiuti

Nel reparto di ricezione di un impianto di digestione anaerobica possono essere conferiti diversi tipi di rifiuti:

• fanghi da depurazione civile;

• scarti agro industriali;

• rifiuti zootecnici.

Il reparto di ricezione e' dimensionato in modo da accogliere un volume di rifiuti corrispondente ad una produzione di 3 giorni del bacino d'utenza servito. Tale aspetto è particolarmente importante per questo tipo di trattamento in quanto rende compatibile la discontinuità del sevizio di raccolta con la continuità di esercizio dell'impianto, che si rende necessaria nel caso in cui si utilizzino digestori con funzionamento continuo.Il deposito dei rifiuti e' realizzato tramite una fossa interrata.

Al fine di prevenire il ristagno dei rifiuti la fossa sara' priva di spigoli vivi; inoltre le pareti ed il fondo saranno realizzati con modalità e materiali tali da sostenere i rifiuti depositati nelle condizioni di massimo riempimento.

Il posizionamento della fossa di accumulo consente l'avvicinamento e la manovra dei mezzi di movimentazione del rifiuto.Per l'accumulo dei fanghi si utilizzeranno serbatoi fuori terra.

3.4.2 Pretrattamento dei rifiuti

Le operazioni di pretrattamento necessarie risultano differenti a seconda che siano utilizzati processi di digestione anaerobica del tipo *a secco (dry)* oppure *ad umido (wet)*. La scelta delle operazioni da eseguire, la loro sequenza ed il tipo di apparecchiature da utilizzare, viene effettuata in relazione a:

• natura e caratteristiche del rifiuto in ingresso all'impianto;

• tipo di processo di digestione anaerobica adottato;

• qualità e destino dei materiali in uscita dall'impianto.

3.4.3 Preparazione del substrato

I rifiuti organici devono essere sottoposti ai trattamenti necessari all'ottenimento di una miscela avente le caratteristiche chimico-fisiche ottimali per poter essere introdotta nei digestori. A tale scopo devono essere eseguite le seguenti operazioni:

Omogeneizzazione e regolazione del contenuto di umidità

I rifiuti devono essere diluiti in modo da regolare l'umidità della miscela al valore ottimale, prima dell'invio all'unità di digestione. Tale valore dipende dal tipo di processo utilizzato (ad umido, a secco, semi-secco) e dal materiale da sottoporre al trattamento. L'obiettivo può essere raggiunto tramite l'aggiunta di fanghi oppure di acqua di ricircolo proveniente dalla sezione di disidratazione.Oltre alla regolazione del contenuto d'acqua è anche necessario provvedere all'omogeneizzazione della miscela prima dell'introduzione nel digestore. I tipi di miscelatori maggiormente utilizzati sono:

• miscelatori a coclee per processi a secco o semi-secco;

• idropolpatori per processi ad umido o semi-secco.

I dispositivi di agitazione o miscelazione devono essere realizzati in materiale resistente all'azione abrasiva o corrosiva dei materiali costituenti i rifiuti. L'unità di miscelazione deve essere facilmente accessibile ed ispezionabile, al fine di consentire lo svolgimento delle operazioni di pulizia e di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Regolazione della temperatura

La miscela da degradare deve essere portata alla temperatura richiesta dal particolare processo utilizzato. La regolazione termica può essere realizzata sia all'esterno che all'interno del digestore.Nel primo caso viene generalmente riscaldata l'acqua di diluizione o la miscela stessa tramite scambiatori di calore.Nel caso di riscaldamento interno, invece, è possibile ricorrere, oltre che all'utilizzo di scambiatori di calore, anche all'iniezione diretta di vapore nel digestore. In questo caso occorre effettuare una vivace miscelazione per

prevenire il surriscaldamento del fango e lo shock termico dei batteri, che può causare la loro completa inibizione.

3.4.5 Digestione anaerobica

Il reparto di digestione anaerobica è costituito da una serie di unità di processo (*digestori*) in cui avviene, in condizioni controllate, la degradazione della sostanza organica e la produzione di biogas. Si prevede l'installazione di 4 digestori anaerobici, L01, L02, M01 ed M02.

Il biogas prodotto, circa 5.000.000 m^3/anno, contenente circa il 50-60% di metano, é depurato e avviato alla centrale a ciclo combinato.

Il processo di produzione sarà controllato in continuo tramite le tecnologie riportate nella tabella seguente.

Tipo di parametro	Parametro	Unità di misura	Tecnica di acquisizione
Fisico	Temperatura esterna	°C	Termocoppia
	Temperatura reattore	°C	Termocoppia
	Pressione reattore	Pascal	Sonda piezometrica
Linea gas	Portata	m^3/ora	Flangia tarata
	Concentrazione CO_2	%	Sonda IR
	Concentrazione CH_4	%	Sonda IR
	Concentrazione H_2S	%	Sonda IR
Alimentazione reattore	pH		pHmetro
	Anioni (PO_4, SO_4, Cl, Br, NO_2,.)	mg/l	Cromatografia ionica
	Cationi (NH_4, Ca, Mg,..)	mg/l	Cromatografia ionica

Tabella n.28 – Parametri di processo controllati in continuo

3.4.6 Digestione aerobica

Il fango digerito é estratto dalle unità di digestione anaerobica ed inviato al reparto di disidratazione dal quale, attraverso una serie di operazioni di pressatura e di filtrazione, si ottiene una corrente di fanghi a basso contenuto di umidità ed una corrente di reflui di processo. Questi ultimi possono essere, dopo oppurtuno controllo di qualita', essere utilizzato come fertilizzante liquido. Il fertilizzante sara' depositato nei serbatoi J01, J02 e J03.

Il fango digerito e disidratato viene invece avviato alla sezione di stabilizzazione aerobica, che si compone di una prima fase di biossidazione accelerata e di una successiva post-maturazione. Il prodotto ottenuto viene avviato al reparto di raffinazione per l'eliminazione di quelle impurezze che potrebbero comprometterne il successivo utilizzo.

4 IMPIANTO DI RECUPERO DEI RIFIUTI CON PRODUZIONE DI IDROGENO

Il Sistema Integrato utilizzera' i rifiuti speciali industriali per produrre idrogeno e biossido di carbonio.

4.1 LA GASSIFICAZIONE DEI RIFIUTI

Studi di settore[44] condotti da enti ed autori diversi negli ultimi anni, hanno mostrato che diversi nuovi processi di gassificazione (e di pirolisi) stanno attirando l'attenzione degli operatori internazionali del settore, proponendosi come alternativa concreta alla termovalorizzazione convenzionale per combustione. Tali processi presentano aspetti vantaggiosi in termini di recupero di materia e di energia, di impatto ambientale[45] e di accettabilità sociale ma sono per larga parte di definizione relativamente recente e, quindi, di minore affidabilità operativa rispetto alle tecnologie tradizionali.

Il termine gassificazione comprende i processi di conversione di qualsiasi combustibile carbonioso in un prodotto gassoso con un potere calorifico utilizzabile. La gassificazione di materiali solidi e liquidi a base carboniosa è nota da quasi duecento anni ed è stata ampiamente impiegata per la produzione di gas di città nell'ultima parte del XIX e del XX secolo. Da allora, sono stati introdotti numerosi miglioramenti in termini di soluzioni impiantistiche e di condizioni di processo, che consentono oggi di offrire una tecnologia più economicamente competitiva, di elevata efficienza energetica e con un impatto ambientale molto contenuto.

I principali vantaggi della gassificazione nei confronti della combustione[46] sono così schematizzabili:

– la gassificazione offre vantaggi sia sulla flessibilità del combustibile in ingresso sia sulla flessibilità dei prodotti ottenuti. In pratica, tutti i materiali a base di carbonio, dal carbone alle biomasse, dai rifiuti (CDR, rifiuti plastici, scarti delle cartiere, residui della rottamazione delle auto) al gas naturale, possono essere gassificati dopo un'adeguata preparazione allo scopo di produrre gas di sintesi da utilizzare per ulteriori processi per produzione di energia e/o per produzione di prodotti chimici di base.

– la gassificazione produce un vettore energetico, dando quindi la possibilità di conservare (per poi usarla come e quando si ritiene più opportuno) l'energia chimica del rifiuto nel gas di sintesi prodotto, piuttosto che convertirla tutta e subito in energia termica dei gas effluenti. Per esempio il bilancio energetico delle principali reazioni che avvengono nella gassificazione del carbone solido (*combustione, ossidazione parziale, metanazione, reazione di Boudouard, water/gas shift reaction, reforming del carbone*) porta ad affermare che utilizzando il 28% del potere calorifico del carbonio puro nella conversione da C solido a CO gassoso, il 72% del potere calorifico del C è conservato nel gas. Nella realtà, il combustibile conterrà anche idrogeno oltre al C, e la percentuale del potere calorifico del combustibile originario che diventa disponibile nel gas è, nei processi moderni, tra il 75 e l'88%[47]. Pertanto se tale valore fosse stato inferiore al 50%, la gassificazione non sarebbe mai diventata un processo di successo commerciale.

– la gassificazione può produrre un gas ricco di idrogeno, utilizzabile come gas di sintesi per la produzione di sostanze chimiche o dello stesso idrogeno.

– la gassificazione appare economicamente competitiva con la combustione anche per il trattamento di rifiuti (urbani e speciali), con costi di capitale che per le varie tecnologie proposte variano tra 60 e 250€ per t/a installata (a fronte di un intervallo di 130-230 € per gli inceneritori)[48].

---

[44] Stiegel G.J. & Maxwell,R.C., *Gasification Technologies: the path to clean, affordable energy in the 21st century*, Fuel Processing Technology, 71:79-97 (2001).
Malkow, T., *Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal*, Waste Management, 24:53-79 (2004).
Klein, A., Whiting K., Archer E., Schwager J., *Gasification and pyrolysis: what is the current situation for waste management?*, Waste Management World, 71-75 (September 2004).
Arena U. & Mastellone, M.L., *Fluidized Pyrolysis and Gasification of Solid Wastes*, in Proc. of Industrial Fluidization South Africa 2005, The South African Institute of Mining and Metallurgy (ISBN 1-919782-83-0), pp. 53-68 (2005).

[45] Perugini, F., Arena, U., Mastellone, M.L., *A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes*", Env. Progress, 24, 2: 137/154(2005).

[46] U. Arena e M.L. Mastellone, FluGas Gassificatore a letto fluido, Manuale Tecnico, 2006, Universitá degli Studi di Napoli Federici II – CrdC-AMRA

[47] Higman, C. and van der Burgt, M., *Gasification*, Gulf Professional Publishing, 2003.

[48] Juniper Consultancy Services Ltd, *Pyrolysis and Gasification of Waste - A Worldwide Technology and Business Review*, 2nd ed., 2001

– la gassificazione produce un gas effluente avente un volume tipicamente pari a circa 1/3 di quello emesso da un impianto di combustione tradizionale, ciò determina un abbassamento dei costi di capitale e di esercizio connessi al trattamento degli inquinanti.

– la gassificazione produce residui solidi non pericolosi, che sono agevolmente impiegabili come materiale da costruzione, senza costi addizionali di smaltimento, ciò determina la possibilità concreta di ottenere un impianto realmente vicino alla condizione "*a zero emissioni*".

Gli impianti di gassificazione sono molto diffusi nel mondo: oltre 128 impianti in esercizio, con oltre 400 gassificatori che generano in totale circa 45.000 MW_th di gas di sintesi. I vari impieghi sono riportati nella figura seguente.

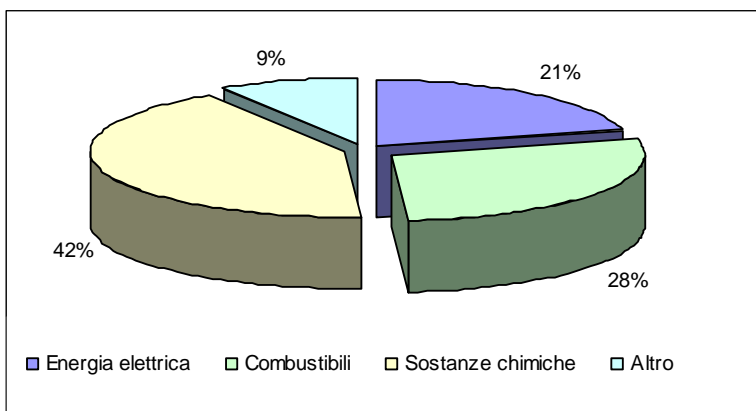



Figura n.23 – Impieghi del gas di sintesi

Esiste una percezione diffusa e sempre più condivisa che la gassificazione sia il cuore della nuova generazione di impianti di produzione di energia, possedendo flessibilità sia sul combustibile in ingresso che sui prodotti in uscita, emissioni pressoché nulle di inquinanti, elevate efficienze termiche e di cattura dell'anidride carbonica, bassi costi di esercizio e di manutenzione.

Fra le diverse forme di trattamento termico di rifiuti con sufficiente contenuto di frazione organica, si individuano tre diversi processi fondamentali, ciascuno caratterizzato da una diversa quantità di ossigeno presente nel sistema reagente:

1.combustione, in cui si realizza l'ossidazione totale e veloce della frazione organica del composto alimentato, in presenza di un adeguato eccesso d'aria rispetto alla richiesta stechiometrica e con il risultato di ottenere prodotti completamente ossidati ed un considerevole rilascio di energia.

2.gassificazione, in cui si realizza un insieme di reazioni tra materiali carboniosi ed uno o più reagenti contenenti ossigeno (di solito, aria, aria arricchita di ossigeno, ossigeno puro, vapor d'acqua, anidride carbonica o miscele di tali gas), a temperature generalmente superiori agli 800℃, per ottenere prodotti gassosi da utilizzare come fonte di energia o come sostanze di base per l'industria chimica.

Le reazioni, che avvengono in ambiente riducente, cioè in presenza di una quantità di ossigeno inferiore a quella richiesta dalla stechiometria della reazione di ossidazione, sono quelle di combustione, quella di Boudouard, la reazione di water gas e la reazione di metanazione.

La maggior parte dei processi industriali di gassificazione è termicamente autosufficiente, cioè è richiesta una quantità nulla o limitata di calore esterno. Il gas prodotto è essenzialmente una miscela di CO, H_2, CO_2, H_2O, N_2 e CH_4, che contiene però anche inquinanti quali, piccole particelle di materiale carbonioso non reagito (*char*), ceneri, *tar* e liquidi condensabili. Dopo il trattamento di pulizia, il gas ha un potere calorifico che varia tra un intervallo minimo di 4-7 MJ/m^3 (per la gassificazione con aria) ed uno massimo di 10-18 MJ/m^3 (per la gassificazione con ossigeno, che necessita però di una fornitura di ossigeno puro con elevati costi di investimento e di esercizio). Il gas di sintesi può essere direttamente impiegato in caldaie, motori o

Livingston W.R., *Technical and Economic Assessment of Energy Conversion Technologies for MSW*, Report No. B/WM/00553/REP for DTI Sustainable Energy Programmes PUB URN NO: 02/1347 (2002).

turbine a gas per produrre calore ed energia elettrica o costituire un prodotto di base per la preparazione di ammoniaca, del metanolo e dei prodotti da essi derivati.

3. pirolisi, in cui non ha luogo alcuna forma di ossidazione ma una degradazione termica del materiale organico, in assenza di ossigeno ed a temperature superiori ai 400℃ (e tipicamente inferiori agli 800℃), raggiunte attraverso l'apporto diretto o indiretto di calore. I prodotti principali del processo sono gas combustibili di pirolisi, liquidi organici condensabili ed un residuo solido, contenente il *char* e la frazione inorganica dei rifiuti. Le proporzioni relative di tali prodotti dipendono dalla natura del composto di partenza e dalle condizioni di esercizio del processo (in particolare, temperature più basse producono una maggiore frazione di prodotti liquidi mentre quelle più alte producono una maggiore quantità di gas di sintesi).

4.2 LA GASSIFICAZIONE ALTERNATIVA ALL'INCENERIMENTO

La gassificazione dei materiali post-consumo e' l'alternativa all'incenerimento e al co-incenerimento. Si riporta letteralmente un passo del 4º Rapporto della British Society for Ecological Medicine *"The Health Effects of Waste Incinerators"*[49] :

"*Gasification has been employed by the natural gas industry for over 80 years but has not, so far, been used extensively for dealing with waste, although plants are now in operation in Italy, Switzerland, Germany and Japan.*

Gasification produces high temperatures and converts complex organic molecules to simple gases.

Plasma refers to the gas when it has become ionized and this happens when an electric current is passed through the gas. Unlike incineration it does not produce contaminated ash.

The gas cleaning process can convert many contaminants into environmentally benign and useful by-products.

There is a very basic difference in the abatement equipment of incinerators and gasification units.

If the abatement equipment in an incinerator fails then people downwind can suffer health effects.

If the abatement equipment in a gasification unit fails it will cause serious damage to the plant itself – so the plant has to be built to a much higher quality.

Toxic substances including metals become encapsulated in silicate which is like being encased in stone.

A good quality plasma gasification unit will not produce any adverse residues or by-products, only silica, sulphur and salt.

It produces a useful by-product called synthesis gas which can be used as a fuel; this is a major financial advantage allowing the capital costs of the unit to be paid within a 7 year period.

Although it is a relatively expensive process, it is far cheaper than incineration once the health costs are taken into account. If it is combined with MBT and recycling then only a small unit is needed."

4.3 LA TECNOLOGIA STARTECH™

La produzione del gas di sintesi tramite la torcia al plasma é la scelta innovativa per la soluzione del problema del recupero dei rifiuti.

Una delle tecnologie che possono essere impiegate è costituita dal processo di dissociazione molecolare PCS (*Plasma Converter System*) di Startech Environmental Corp. – USA[50] La tecnologia per la dissociazione molecolare della materia deriva dalle attività di ricerca aerospaziale sviluppate dalla NASA, in particolare per i test di materiali di protezione degli shuttle dall'attrito e calore sviluppati nelle fasi di rientro in atmosfera. Da questo settore le applicazioni sono state trasferite al settore militare (distruzione irreversibile di gas tossici, armi batteriologiche e ogni altra forma di inquinante militare).

Da qualche tempo le applicazioni si stanno diffondendo nel settore industriale e civile (distruzione irreversibile di rifiuti pericolosi o speciali prodotti dalle industrie, dagli ospedali, rifiuti pericolosi prodotti da altre attività urbane, fino ai normali rifiuti urbani). Il principio base di questa nuova tecnologia si incentra sulla dissociazione molecolare delle componenti organiche dei rifiuti (e sulla fusione delle componenti

---

[49] *Dr Jeremy Thompson and Dr Honor Anthony, ottobre 2005*

[50] *Giudicata come BAT – Best Available Technology - nella dissociazione molecolare di materiali organici e inorganici, certificata top technology dal Ministero della Difesa e dal Governo degli Stati Uniti e certificata dall'EPA come ampiamente eccedente i gradi di purezza dei prodotti energetici del processo.*

inorganiche) operata ad altissima temperatura all'interno di un reattore chiuso (convertitore al plasma), senza combustione e quindi senza emissione di fumi e senza produzione di ceneri (non esistono camini in quanto i prodotti finali delle reazioni, dopo appropriati trattamenti di pulizia del gas di sintesi, sono avviati a impieghi specifici o, se necessario, immessi in rete). L'elevata temperatura di reazione è fornita da un plasma (miscela di ioni a 15-20.000 °C) attivato da un arco voltaico. Il plasma, opportunamente diretto dal controllo di processo sulla massa di rifiuti ne dissocia la parte organica e produce la fusione della parte inorganica.

Il "*plasma*", che viene definito il "*quarto stato di aggregazione della materia*", ha in comune con lo stato gassoso la condizione aeriforme, ma differisce dai gas per la rottura delle strutture molecolari (è formato da ioni ed elettroni separati e in equilibrio a temperature elevatissime) e per il notevole potere elettro-conduttore. Colpite dal plasma, le componenti organiche gasificano, mentre i vetri, i metalli e altre sostanze inorganiche (ceneri, scorie, ecc.) rammolliscono e fondono rapidamente, miscelandosi nel bagno fuso in fondo al crogiuolo del reattore e sono poi colati sotto forma di materiale inerte a pasta vitrea non lisciviabile, con segregazione di una parte metallica.

Qualora nei rifiuti sia presente una quantità elevata di metalli, questi possono essere spillati e recuperati. Il risultato di questo processo di dissociazione è un gas di sintesi a prevalente contenuto di idrogeno (oltre il 50%), con un elevato contenuto di CO (oltre il 35%) e un 10% circa di azoto e idrocarburi leggeri (grazie al sofisticato controllo di processo, questa composizione del gas di sintesi permane praticamente costante, indipendentemente dal tipo di rifiuti distrutti: vernici, gomme, plastiche, legno, tessuti, etc).

Il Governo Americano ha qualificato (sulla base di specifiche prove per la distruzione irreversibile di differenti tipi e gradi di pericolosità di rifiuti da smaltire) la tecnologia "*Plasma Converter System*" (PCS™) di Startech Environmental Corporation quale top tecnologico per la distruzione di rifiuti senza rischi per la salute e l'ambiente (la tecnologia Startech è anche definita "*tecnologia dei nove 9*", in quanto realizza gas di sintesi in uscita con grado di purezza da 100 a 100.000 volte superiore a quanto richiesto dalle severe normative EPA[51]). La dissociazione molecolare e' prodotta tramite torce al plasma che necessitano di 950 KWh/tonnellata di rifiuto trattato. Questo assorbimento elettrico e' praticamente indipendente dal tipo di rifiuto sottoposto a dissociazione molecolare. Il dissociatore molecolare e' in grado di trasformare il rifiuto in un gas di sintesi e in un rifiuto vetrificato. Inoltre l'abbattitore ad umido ad soda caustica produce come scarto un prodotto salino, che sara' smaltito dopo solidificazione e stabilizzazione.

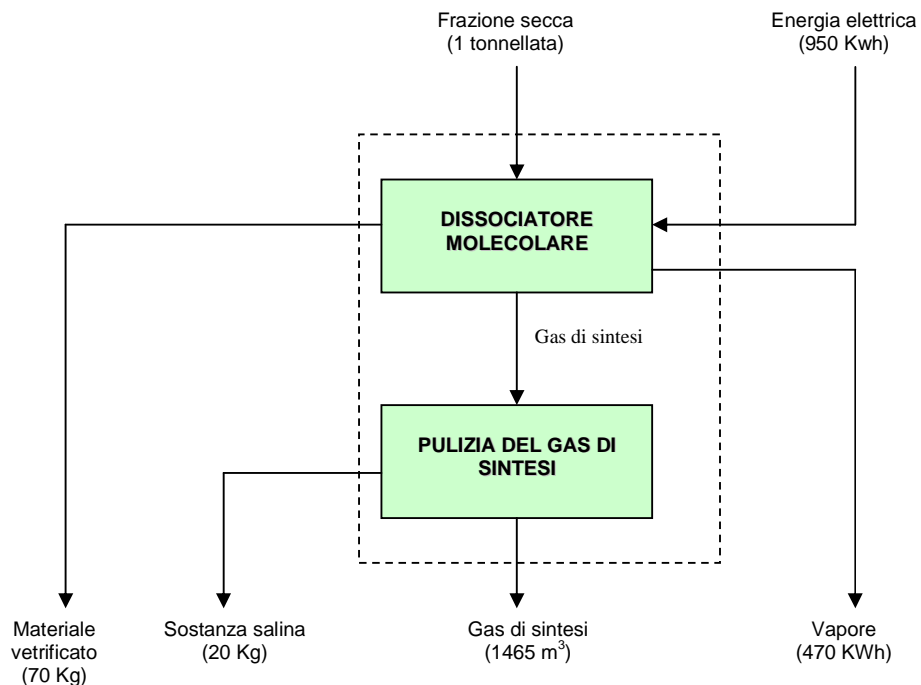



Figura n.24 – Processo di gassificazione

[51] *Environmental Protection Agency*

A fronte del trattamento di un chilogrammo di rifiuto e' prodotta una quantita' variabile di gas di sintesi, avente un contenuto energetico quasi costante.

La produzione di gas di sintesi e il suo contenuto energetico sono riportate nella figura e nella tabella seguenti.

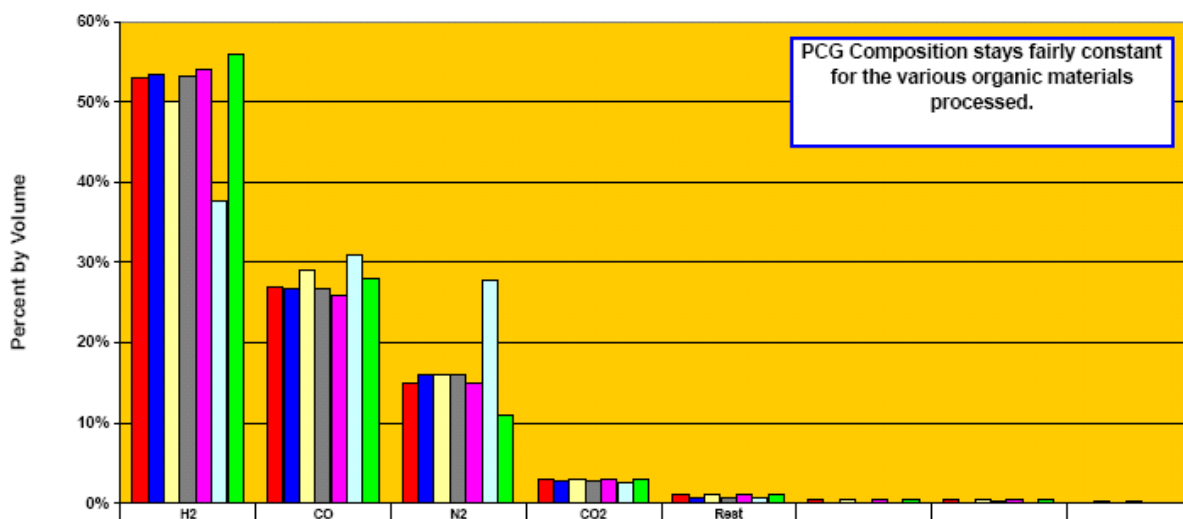



Figura 25 – Composizione percentuale del gas di sintesi[52]

	H_2	CO	N_2	CO_2	Altri composti organici			
Fanghi	53,0%	27,0%	15,0%	3,0%	1,0%	0,5%	0,4%	0,1%
R.S.U.	53,4%	26,8%	16,1%	2,7%	0,6%	0,1%	0,1%	0,2%
Pollina	50,0%	29,0%	16,0%	3,0%	1,0%	0,5%	0,4%	0,1%
Rifiuti sanitari	53,3%	26,8%	16,1%	2,7%	0,6%	0,1%	0,2%	0,2%
Gomme	54,0%	26,0%	15,0%	3,0%	1,0%	0,5%	0,4%	0,1%
PCB	37,7%	31,0%	27,8%	2,6%	0,6%	0,1%	0,1%	0,15
Plastica	56,0%	28,0%	11,0%	3,0%	1,0%	0,5%	0,4%	0,1%

Tabella n.29 – Composizione percentuale del gas di sintesi[53]

La concentrazione delle impurezze nel gas di sintesi e' molto inferiore ai limiti di legge delle emissioni in atmosfera.

Per assurdo, <u>se non si volesse riutilizzare il gas di sintesi, potrebbe essere immesso in atmosfera data la piccola quantita' di impurezze in esso presenti</u>.

[52] Fonte STARTECH™
[53] Fonte STARTECH™

Impurezze	Unita' di misura	Concentrazione	Limiti di emissione	Rapporto limite di emissione / concentrazione delle impurezze
Polveri totali	mg/m^3	0,03	10	300 volte
Composti inorganici del cloro[54]	mg/m^3	0,035	10	300 volte
Ossidi di azoto	mg/m^3	0,45	50	100 volte
Ossidi di zolfo	mg/m^3	75	200	3 volte
Cadmio e suoi composti	$\mu g/m^3$	0,00456	50	10.000 volte
Tallio e suoi composti	$\mu g/m^3$	0,455946	50	100 volte
Sb, As, Pb, Cr,Cb,Cu, Mn. Ni, V[55]	$\mu g/m^3$	0,205176	500	2.500 volte
Diossine e furani	ng/m^3	0,0070656	0,1	14 volte

Tabella n.30 – Impurezze nel gas di sintesi

4.4 DESCRIZIONE DEL PROCESSO

Il processo di dissociazione molecolare della Startech che produce il gas di sintesi è costituito dai seguenti elementi:

1) Convertitore al plasma: il materiale in ingresso, liquido, solido o gassoso, è dissociato in questo reattore ad alta temperatura coibentato di refrattario, operante in leggera depressione.

Il reattore presenta le necessarie aperture per la torcia al plasma, per le porte di ispezione, per l'alimentazione del materiale e per la fuoriuscita dei prodotti: PCG™ (Plasma Converted Gas) e inorganici fusi.

2) Torcia al plasma: sistema tecnologico di elettrodi che fornisce l'energia necessaria a ionizzare il gas plasma (es. aria, argon, ecc.); è alimentata a corrente continua e raffreddata ad acqua.

L'alta temperatura di esercizio, fino a 15.000 gradi, permette la dissociazione molecolare. La torcia è montata nella parte superiore del convertitore al plasma e utilizza un sistema di oscillazioni operative controllate per ottimizzare la distruzione dei rifiuti.

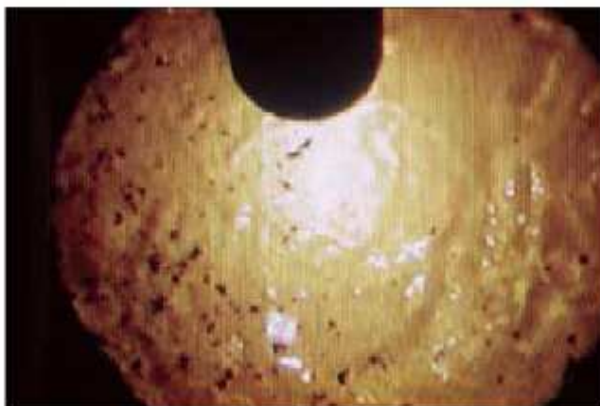



Figura n.26 – Torcia al plasma[56]

---

[54] Espressi come cloro.
[55] Melalli e loro composti.
[56] Foto di John B. Carnet, tratto dall'articolo "*The prophet of garbage*", Popular Science, volume 270#3, marzo 2007

3) Sistema di alimentazione: per i solidi utilizza spintori o meccanismi a coclea; per i liquidi utilizza pompe o eiettori a vapore; per i gas stoccati in tank utilizza valvole a regolazione di pressione.

Vapore arricchito di ossigeno, introdotto nel convertitore, permette il controllo stechiometrico della qualità del PCG™, basandosi sulla composizione dell'alimentazione.

4) Sistema di estrazione del fuso: utilizza il raffreddamento a secco o a umido dei prodotti fusi per formare particelle solide che sono convogliate in un fusto di raccolta

5) Sistema di raffreddamento PCG™ e generatore di vapore: il recuperatore di calore e generatore di vapore del PCG iniziale raffredda questo gas da 1300℃ a 2 00℃, generando vapore da riutilizzare. In questa f ase vengono aggiunti additivi in polvere per prevenire la formazione di diossine anche in tracce.

6) Filtro particolato: un collettore di polvere a cartuccia a impulsi è in grado di recuperare le polveri raccolte per il loro riciclo nel convertitore al plasma. Filtri addizionali possono essere aggiunti a monte del filtro particolato per captare particelle inferiori al micron e/o per l'abbattimento a secco di componenti acide del gas.

7) Colonne impaccate: un sistema a 2 stadi di raffreddamento rapido del PCG abbatte la sua temperatura da 200℃ a 30℃. i gas acidi sono eliminati in questa unità. Vengono addizionati idrossidi di sodio o similari reagenti basici per neutralizzare ed eliminare ogni componente acida dal PCG.

8) Riscaldatore del PCG: il PCG è riscaldato sopra il punto di condensazione usando calore di processo o elettricità.

9) Filtro GAC: filtro a carboni attivi (non evidenziato).

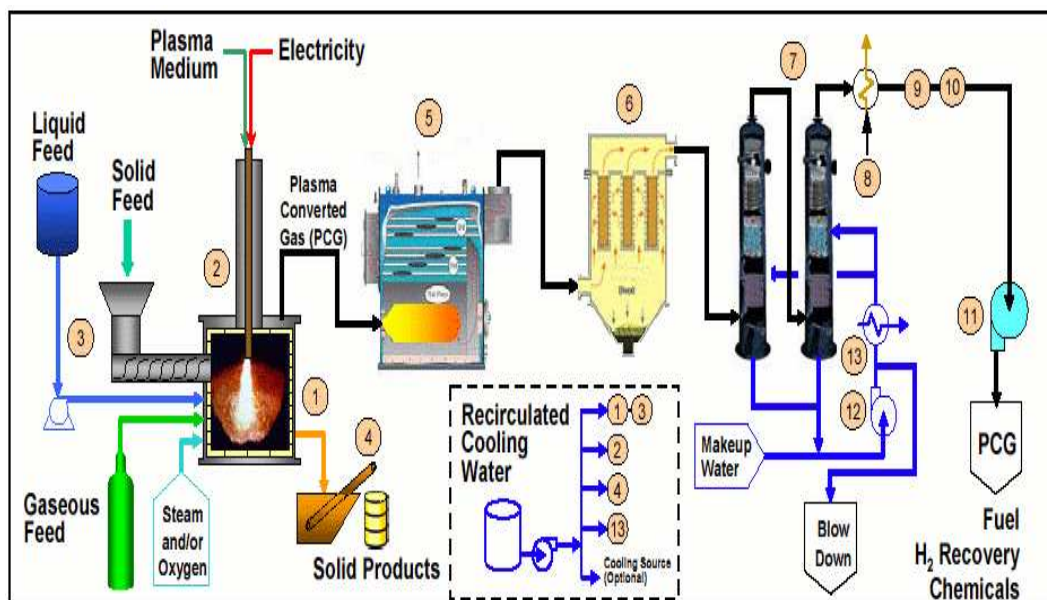



Figura n.27 – Il processo di dissociazione molecolare[57]

10) Filtro HEPA: filtro ad alta efficienza per l'abbattimento del particolato (opzionale, non evidenziato).

11) Ventola di depressione: Mantiene una leggera depressione all'interno del convertitore al plasma.

12) Pompa di ricircolo dell'acqua: ricircola l'acqua degli impianti di pulizia del gas. Un limitato flusso di acqua di scarico dalle colonne impaccate è inviato in fogna.

13) Scambiatore di calore: asporta calore dall'acqua di pulizia del gas per riutilizzarla nel sistema di raffreddamento.

[57] *Fonte : Startech™*

Nell'impianto che si vuole realizzare il filtro a carbone attivo e il filtro HEPA saranno installati a garanzia di un'elevatissima purezza del gas di sintesi in uscita dal processo. E' evidente che **il processo di produzione del gas di sintesi non ha emissioni in atmosfera**.

4.5 IL BILANCIO ENERGETICO DEL PROCESSO STARTECH

La tecnologia con la torcia al plasma della Startech permette di ottenere una quantita' variabile di gas di sintesi in funzione del tipo di rifiuto sottoposto a dissociazione molecolare. Nella tabella seguente risulta evidente che:

- il contenuto energetico del gas di sintesi varia molto poco in funzione della tipologia di rifiuto;
- i rifiuti con piu' alto contenuto organico producono una maggiore quantita' di gas di sintesi e conseguentemente forniscono una maggiore quantita' di energia.

La produzione del gas di sintesi e' proporzionale al P.C.I. del rifiuto. Per esempio possiamo stimare la produzione di gas di sintesi per il CDR: assumendo un P.C.I. di almeno 15.000 KJ/Kg[58], la quantita' di gas di sintesi prodotta dal dissociatore molecolare e' di circa 1,842 m^3. Poiche' il consumo energetico delle torce e' di 950 KWh/ton di rifiuto trattato, risulta evidente che <u>il sistema e' energeticamente autosufficiente</u>.

Tipo di rifiuto	Produzione PCG	Energia PCG		Energia totale disponibile PCG[59]	
	m^3/Kg di rifiuto	KWh/m^3	KJ/m^3	KWh/Kg di rifiuto	KJ/Kg di rifiuto
Fanghi di depurazione	0.71	2.95	10,620	2.09	7,540
Rifiuti urbani indifferenziati	1.08	2.85	10,260	3.08	11,081
Rifiuti ospedalieri	1.84	2.85	10,260	5.24	18,878
Pneumatici	2.41	3.05	10,980	7.35	26,462
PCB	3.11	2.38	8,568	7.40	26,646
Plastica (polipropilene)	4.39	3.26	11,736	14.31	51,521

Tabella n.31 – Produzione del gas di sintesi

Ci sono quattro possibilita' di utilizzo del gas di sintesi: l'immissione nella rete nazionale del gas naturale, la produzione di idrogeno, la produzione di energia elettrica e la produzione di etanolo.

La prima opzione e' ovviamente la piu' semplice: per esempio, per ogni tonnellata di pneumatici, si producono 2.410 m^3 di gas di sintesi, avente un contenuto energetico totale di 7.350 KWh (equivalenti a 26.462 MJ) per un valore economico[60] di 184 € superiore al costo dell'energia elettrica necessaria a produrre il gas di sintesi e agli altri costi di impianto e di gestione.

4.6 IL PROCESSO GTL

La sigla GTL, acronimo di *Gas To Liquid*, indica un processo per ottenere combustibili liquidi a partire dal gas naturale che, a volte, risulta di difficile utilizzazione per la mancanza di infrastrutture che lo canalizzino verso le aree di consumo.

Anche se recentemente il tema suscita un largo interesse, l'origine del processo risale agli anni '20 quando Franz Fischer e Hans Tropsch, due ricercatori dell'Istituto per le Ricerche sul Carbone "Kaiser Wilhelm" di Müllheim, dimostrarono che il gas di sintesi, ottenuto dalla gassificazione del carbone e costituito

[58] *Potere calorifico inferiore minimo per poter classificare il rifiuto C.D.R. in conformita' al D. Lgs. 152/2006, art.183, comma 1, lettera r).*
[59] *Energia di tutto il PCG prodotto da 1 Kg di rifiuto, disponibile per la conversione in energia elettrica.*
[60] *Nel calcolo si e' assunto un potere calorifico del gas naturale di 38 MJ/m^3 ed un costo di 0,28 €/m^3*

principalmente da CO e H_2, dava luogo alla formazione di idrocarburi per effetto dell'idrogenazione del CO su un catalizzatore al ferro, cobalto o nichel alla temperatura di 180-200℃ ed a pressione atmosferica. Il carbone, che all'epoca era una risorsa primaria della Germania, costituiva evidentemente la materia prima per ottenere il gas di sintesi. Il *processo Fischer Tropsch*, che si inseriva a valle del processo di gassificazione, e quasi a completamento dello stesso, costituiva una valida alternativa alla liquefazione diretta del carbone (*processo Bergius*) presentandosi come una nuova strategia di conversione conosciuta come "*liquefazione indiretta del carbone*". In effetti durante la seconda guerra mondiale il fabbisogno di combustibili per uso trazione e per l'aeronautica della Germania, priva di risorse petrolifere, fu quasi totalmente coperto dal carbone con una produzione nel 1944 di circa 5 milioni di tonnellate di carburanti per la maggior parte con il processo di liquefazione diretta ed in parte minore (circa 600.000 tonnellate) con il processo di liquefazione indiretta (Fischer Tropsch).

Benchè nato con lo scopo di fornire combustibili liquidi, ben presto si vide che il chimismo delle reazioni ed i prodotti ottenuti con il processo Fischer Tropsch potevano costituire un'ottima carica per l'industria chimica al punto che nel 1944 circa il 40% dei prodotti derivanti dagli impianti tedeschi, che utilizzavano tale processo, costituiva la carica per successivi processi chimici. A parte attività residuali nella Germania dell'Est protrattesi fino ai primi anni 60, il processo Fischer Tropsch non ebbe seguito nel periodo post bellico sul piano industriale in quanto il prezzo del petrolio ne metteva fuori mercato i prodotti. Solo il Sud Africa, ricco di carbone e povero di petrolio, ma commercialmente isolato per ragioni politiche, vide nel processo Fischer Tropsch il mezzo per affrancarsi da risorse esterne. A partire dalla metà degli anni cinquanta la compagnia sudafricana SASOL costruì un primo impianto industriale utilizzando la tecnologia Fischer Tropsch. Negli anni successivi SASOL, sempre in un'ottica autarchica, continuò a sviluppare il processo di liquefazione indiretta del carbone acquisendo esperienza e sviluppando tecnologie proprie sia nel disegno del reattore che nella realizzazione dei catalizzatori.

Il processo Fischer Tropsch, inteso semplicemente come fenomeno chimico, ha una estrema flessibilità con un potenziale spettro di prodotti che possono oscillare entro ampi limiti privilegiando la produzione di benzine rispetto al gasolio o viceversa. Sono le scelte ingegneristiche, vale a dire: il tipo di reattore, il catalizzatore, le condizioni operative ed, infine, la complessità della sezione di raffinazione che determinano univocamente la produzione finale. La linea di tendenza attuale privilegia i processi a bassa temperatura con reattori a letto fluido (*Slurry bed reactor*). Nella tabella che segue si pongono a confronto le caratteristiche dei due combustibili. Oltre al gasolio, che costituisce la parte preponderante, si ottiene GPL, virgin nafta ad elevato tenore di paraffine, particolarmente idonea per i cracker, ed olii lubrificanti. Nella figura 2 sono rappresentati i prodotti che si ottengono dal barile di petrolio secondo uno schema medio di lavorazione di raffineria (prima colonna) e la composizione di un pari volume (il barile) di prodotti ottenibili con il processo Fischer Tropsch (seconda colonna). E' comunque da sottolineare che, come detto in precedenza, la distribuzione dei prodotti richiamati in figura ha, nel caso del processo Fischer Tropsch, un valore puramente indicativo potendo subire ampie oscillazioni in funzione della tecnologia adottata con un campo di possibilità: per i pesanti (lubrificanti e cere) tra zero ed il 30%; per i distillati medi tra il 50 e l'80% e per i leggeri tra il 15 ed il 25%.

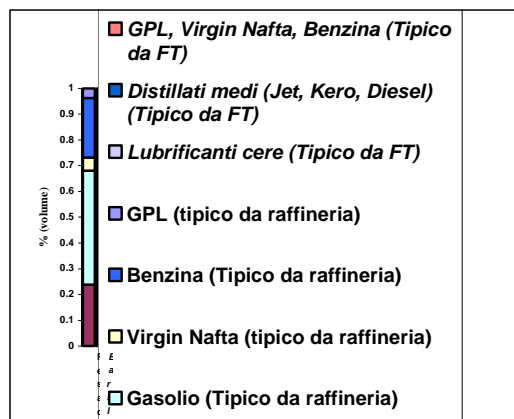



Figura n.28 – Prodotti del processo Fischer-Tropsch

Il rinnovato interesse riscosso negli ultimi tempi dal processo Fischer Tropsch nasce dalla convinzione che il graduale incremento del prezzo del petrolio sia un fenomeno non reversibile e che, di conseguenza, processi e tecnologie, con investimenti di lungo periodo, acquistino una nuova accattivante dimensione economica.

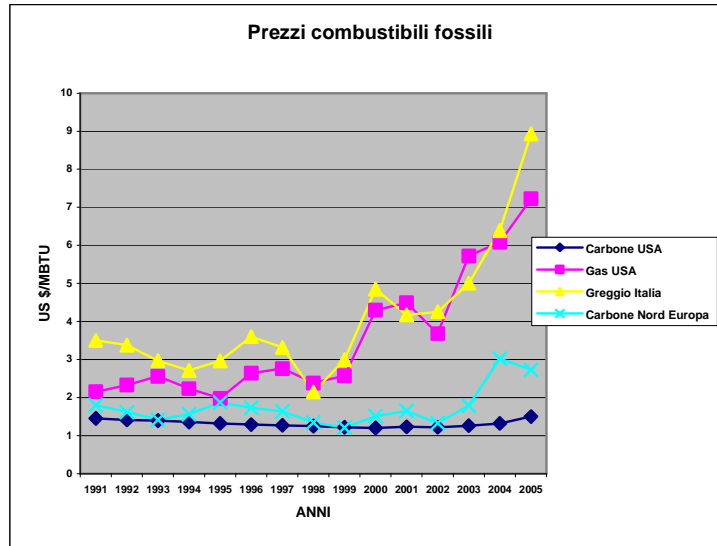



Figura n.29 – Andamento dei prezzi dei combustibili fossili

4.7 LA PRODUZIONE DI IDROGENO

Il processo Startech, oltre ad avere la possibilita' di generare etanolo, è potenzialmente in condizione di generare il piu' avanzato e ambientalmente compatibile vettore energetico: l'idrogeno.

Questo vettore energetico è infatti abbondantemente disponibile in quanto è presente per oltre il 50% nei volumi di gas prodotti dalla dissociazione molecolare al plasma.

L'idrogeno contenuto in questo Syngas è separabile dalla miscela in uscita dal sistema PCS Startech utilizzando un'altra tecnologia brevettata da Startech: l'unità Starcell®.

Questa unità impiantistica, utilizza un sistema di ultrafiltrazione brevettato da Startech basato sull'impiego di filtri ceramici a porosità calibrata sulla dimensione dell'atomo di idrogeno, che migra attraverso le porosità del filtro, mentre le altre componenti del Syngas (CO, idrocarburi leggeri, azoto, ecc.) sono segregate: la purezza dell'idrogeno così prodotto è adatta sia agli usi industriali, sia agli usi alimentari (esempio: idrogenazione dei grassi), sia ad alimentare le celle a combustibile che producono energia per gli autoveicoli a zero emissioni.

Nel Sistema Integrato la produzione di idrogeno e di biossido di carbonio sará ottenuta con un processo proprietario.

4.8 L'AUTONOMIA ENERGETICA

Il gas di sintesi puó essere utilizzato per la generazione di energia elettrica nella centrale turbogas a ciclo combinato. Per valutare se il bilancio di energia sia positivo, possiamo supporre di utilizzare il gas di sintesi come combustibile in due diversi sistemi:

- Motore endotermico;
- Centrale elettrica a ciclo combinato (vedi schema seguente).

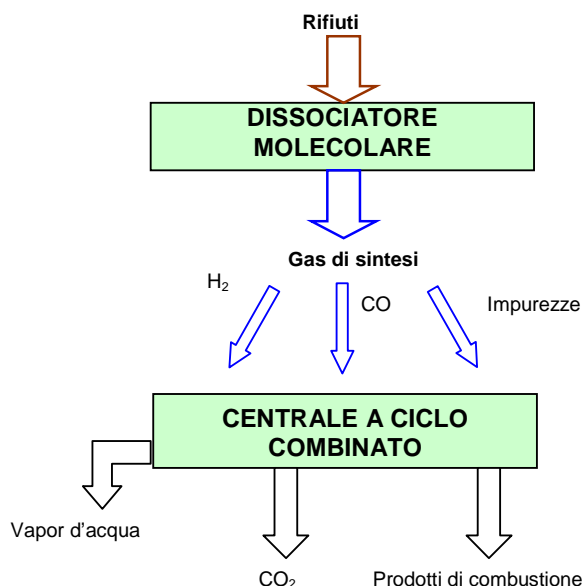



Figura n.30 – Il gas di sintesi come combustibile della centrale a ciclo combinato

Nella tabella seguente e' riportato il bilancio di energia in funzione di alcune tipologie di rifiuto.

Tipo di rifiuto	**Energia totale disponibile PCG**[1]		**Consumo di energia elettrica delle torcie**	**Produzione di energia eletrica dal PCG**		**Bilancio di energia**[4]	
	KWh/Kg di rifiuto	KJ/Kg di rifiuto	KWh/Kg di rifiuto	Motore endotermico[2]	Ciclo combinato[3]	Motore endotermico	Ciclo combinato
Fanghi di depurazione	2.09	7,540	0.95	0.73	0.84	-0.22	-0.11
Rifiuti urbani indifferenziati	3.08	11,081	0.95	1.08	1.23	0.13	0.28
Rifiuti ospedalieri	5.24	18,878	0.95	1.84	2.10	0.89	1.15
Pneumatici	7.35	26,462	0.95	2.57	2.94	1.62	1.99
PCB	7.40	26,646	0.95	2.59	2.96	1.64	2.01
Plastica (polipropilene)	14.31	51,521	0.95	5.01	5.72	4.06	4.77
1 - Energia di tutta il PCG prodotto da 1 Kg di rifiuto, disponibile per la conversione in energia elettrica				2- Rendimento 35%	3 Rendimento 40%	2, 3, 4 - unità di misura : KWh/Kg di rifiuto	

Tabella n.32 – Bilancio di energia

La dissociazione molecolare dei fanghi di depurazione determina un deficit di energia elettrica, a causa della bassa produzione di gas di sintesi determinato dalla elevatissima umidita' normalmente presente nei fanghi. La dissociazione molecolare di tutti gli altri tipi di rifiuti ha un bilancio di energia elettrica positivo.

L'autonomia energetica e' una fondamentale caratteristica del processo Startech, rispetto ad altre tecnologie con torcia al plasma, di cui non si e' dimostrata l'autosufficienza dal punto di vista dell'energia elettrica.

E' evidente che il recupero di rifiuti speciali industriali ad alto contenuto organico fornisce una quantitá di gas di sintesi tale da avere ampiamente un bilancio energetico positivo.

Inoltre il dissociatore molecolare produce energia termica (ben 450 KWh/tonnellata di rifiuto), che e' recuperata dagli scambiatori di calore e può essere utilizzata nei processi produttivi circostanti (vapore e acqua calda).

4.9 LA CONFIGURAZIONE DELL'IMPIANTO

Innanzitutto è importante sottolineare che, nei gassificatori, la purificazione del gas sintetico prima del suo utilizzo come combustibile, abbatta le emissioni in atmosfera all'origine, prima del suo eventuale uso nella centrale a ciclo combinato.

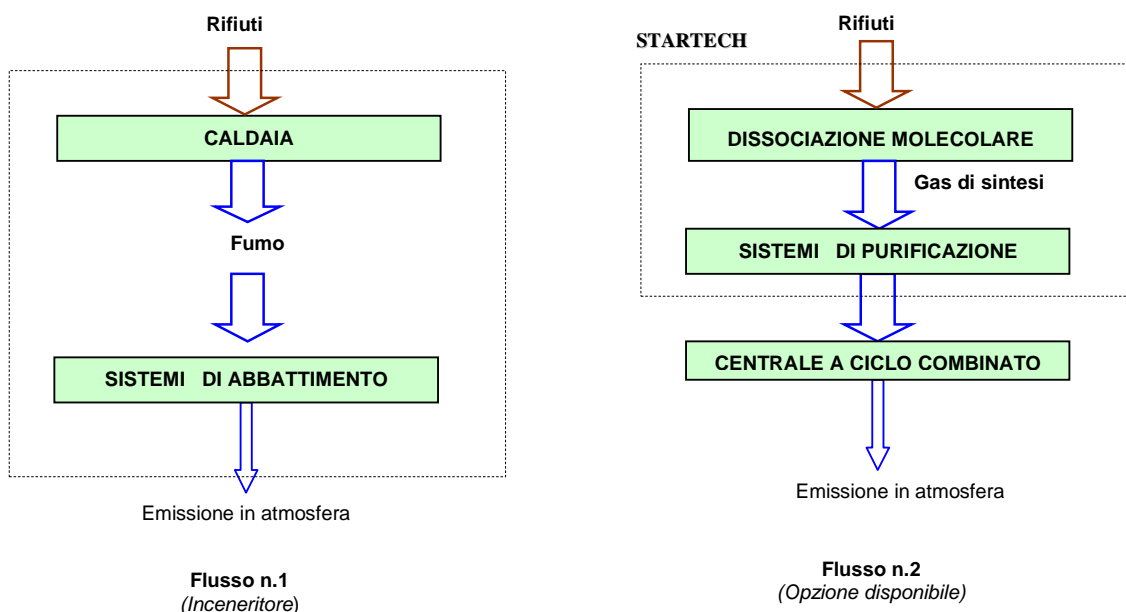



Figura n.31 – Confronto del flusso delle emissioni in atmosfera

In un termovalorizzatore, dopo la combustione, si procede all'abbattimento degli inquinanti. Pertanto, in caso di malfunzionamento dei sistemi di abbattimento, si avrebbe un immediato e diretto impatto ambientale.

Nel sistema Startech™, il gas sintetico e' depurato prima di essere reso disponibile. Un eventuale disservizio nel sistema di purificazione del gas di sintesi. determinerebbe un grave danno alle turbine della centrale a ciclo combinato (se fosse utilizzato come combustibile). Quindi il gestore ha la necessita' vitale che la purificazione del gas di sintesi sia corretta, in modo da evitare un ingentissimo danno economico.

Nel progetto e' stata fatta la scelta di non utilizzare direttamente il gas di sintesi per la produzione di energia elettrrica (come mostrato nel flusso 2 della figura 10) ma di trasformarlo prima in idrogeno e biossido di carbonio e poi di usare l'idrogeno come combustibile nella centrale a ciclo combinato.

Questa soluzione permette di avere un migliore bilancio energetico con la contemporanea garanzia di un impatto ambientale positivo, dovuto all'utilizzo di idrogeno puro.

La caratteristica saliente della tecnologia Startech™ è la sua modularitá: il fornitore costruisce moduli che possono trattare 10, 25 o 50 tonnellate/giorno di rifiuti.

La configurazione massima del Sistema Integrato sara' di 16 moduli, per una capacitá totale di trattamento di 180.000 tonnellate/anno.

Un'altra caratteristica favorevole del sistema Startech™ sono i suoi ingombri che lo rendono un'apparecchiatura molto compatta.

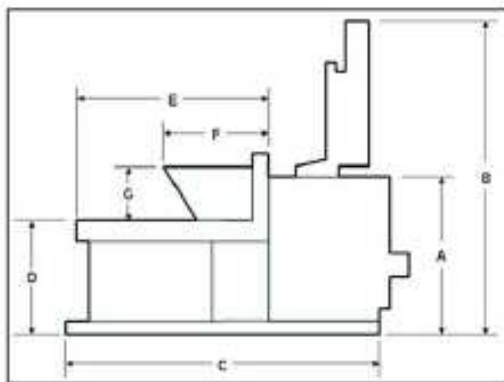



Figura n.32 – Ingombri di un Sistema Startech™

Ton/giorno	A	B	C	D	E	F	G
5	2,39	4,57	4,57	1,73	2,90	1,57	0,76
10	2,64	4,98	4,93	1,73	3,10	1,78	0,91
20	2,69	5,03	5,18	1,73	3,10	1,78	0,91
50	3,05	5,64	5,59	1,98	3,20	2,13	1,32

Tabella n.33 – Ingombri di un Sistema Startech™ (in metri)

Figura n.33 – Vista del modulo Startech™ da 5 ton/giorno

La compattezza di un modulo Startech™ è evidente dal fatto che un modulo da 5 ton/giorno possa essere trasportato pronto per l'uso su un camion.

Figura n.34 – Vista del modulo trasportabile Startech™ da 5 ton/giorno pronto per l'uso

L'impianto di recupero dei rifiuti industriali con produzione di idrogeno sará quindi un sistema modulare distribuito in vari piccoli edifici, come risulta evidente dalla vista prospettica e dalla planimetria (fogli 14 e 15 allegati al progetto). Gli edifici avranno altezze inferiori a 18 metri, come riportato nel foglio 16 (*parametri urbanistici*).

L'impianto di recupero dei rifiuti industriali con produzione di idrogeno sará diviso in quattro aree di attivitá.

Tutti i depositi dei rifiuti saranno al chiuso, in edifici, separati dagli edifici in cui ci sono le apparecchiature con torce al plasma, come mostrato nella tabella seguente e nel foglio 17 allegato al progetto.

ATTIVITA'		EDIFICI		
Tipo	Quantitá di rifiuti recuperati (t/a)	Edifici dove si recuperano rifiuti	Depositi dei rifiuti	Accettazione dei rifiuti
Recupero di rifiuti solidi non pericolosi	120.000	FA. 43 FA. 40	FA. 42 FA. 38	FA. 36 FA. 37 FA. 40 FA. 41
Recupero di rifiuti solidi pericolosi	30.000	FA.26	FA. 25	FA. 23 FA. 24
Recupero di rifiuti liquidi e fangosi pericolosi	30.000	FA. 35	FA. 33 FA. 34	[61]
Produzione di idrogeno	---	FA. 32	---	---

Tabella 34 – Funzioni dei vari edifici dell'impianto di recupero dei rifiuti e produzione di idrogeno

La ripartizione delle apparecchiature Startech™ nei vari edifici dove si effettua il recupero dei rifiuti è riportata nella tabella seguente.

Attivitá	Quantitá di rifiuti recuperati (t/a)	Edifici dove si recuperano rifiuti	Numero di apparecchiature Startech™	Potenzialitá di ogni apparecchiatura (ton/giorno)
Recupero di rifiuti solidi non pericolosi	120.000	FA. 43 FA. 40	4 4	50
Recupero di rifiuti solidi pericolosi	30.000	FA.26	4	25
Recupero di rifiuti liquidi e fangosi pericolosi	30.000	FA. 35	4	25

Tabella 35 – Distribuzione delle apparecchiature Startech nei vari edifici dell'impianto di recupero dei rifiuti e produzione di idrogeno

Infine è da sottolineare che la disponibilita' di 16 apparecchiature con torcia al plasma permette di dedicare ogni modulo a tipologie simili/omogenee di rifiuti. In questo modo le apparecchiature funzioneranno sempre con gli stessi parametri di processo.

[61] *Lo scarico dei rifiuti liquidi avviene all'interno dell'edificio FA. 33, mentre lo scarico dei rifiuti fangosi, tramite coclea, avviene all'esterno dell'edificio FA. 34*

5. LA CENTRALE DI COGENERAZIONE

L'impianto di cogenerazione di energia elettrica, vapore ed acqua calda a 80 ºC, avra' la funzione di fornire:

a) energia elettrica alle varie sezioni del *Sistema Integrato*;

b) energia elettrica alle aziende del Nucleo Industriale di Avezzano e agli Enti Pubblici;

c) calore per i vaporizzatori.

La centrale sará costituita da:

a) centrale a celle fotovoltaiche da 1 MW_e che sfruttera' l'energia del sole, installata sui tetti degli edifici del Sistema Integrato;

b) centrale a celle fotovoltaiche da 1 MW_e che sfruttera' l'energia del sole, installata sulla discarica di Luco dei Marsi, in localitá La Petogna, attualmente chiusa e da bonificare;

c) centrale turbogas a ciclo combinato (costituita da n.6 moduli) di potenza elettrica nominale[62] complessiva di 110 MWe in grado di erogare anche 4.500.000 Kcal/ora di calore sotto forma di vapore;

La producibilitá elettrica del Sistema Integrato è riportata nella tabella seguente.

Tipo di centrale	Numero	Potenza elettrica nominale (MW_e)	Produzione elettrica (GWh/a)
Celle fotovoltaiche	2	1	2.6
Centrale a ciclo combinato	*1*	*110*	*656.9*
Totale Sistema Integrato		*112*	*659.5*

Tabella n.36 – Produzione di energia elettrica

La scelta di questa configurazione e' stata fatta per soddisfare le seguenti esigenze:

- Continuita' nella produzione di energia elettrica, in modo che in qualunque situazione sia in grado di soddisfare almeno la richiesta di energia elettrica del Sistema Integrato. Infatti abbiamo ben quattro fonti diverse di energia, oltre alla Rete Elettrica Nazionale:energia solare, biogas, idrogeno e gas naturale.
- Utilizzo di tecnologie all'avanguardia ma consolidate, come le celle fotovoltaiche e le centrali a ciclo combinato che utilizzano turbine a gas a bassissima emissione di inquinanti.

5.1 – CENTRALE SOLARE A CELLE FOTOVOLTAICHE

La centrale elettrica a celle fotovoltaiche avra' una potenza installata di 1 MW_e, costituita da moduli a silicio amorfo che occupano uno spazio di 2,6 m^2/KW_p.

Le celle fotovoltaiche saranno disposte sui tetti in posizione orizzontale. In questa configurazione 1000 m^2 di celle fotovoltaiche corrispondono a 64 KW_p per una produzione stimata pari a 78.000 KWh annui. Pertanto la centrale fotovoltaica occupera' circa 16.000 m^2 di superficie i cui moduli saranno installati come copertura degli edifici dello stabilimento.

Invece nella discarica di Luco dei Marsi, i moduli fungeranno da riceprimento superiore della discarica, evitanto che le piogge entrino nel corpo della discarica con il conseguente risparmio nello smaltimento del percolato.

---

[62] *Alle condizioni ISO : 15 ºC, livello del mare, 60% di umiditá relativa, zero perdite di adduzione dell'aria e di scarico dei fumi.*

5.2 – CENTRALE TURBOGAS A CICLO COMBINATO

Sono state valutate diverse soluzioni d'impianto con vari tipi di turbogas e vari tipi di recupero termico.

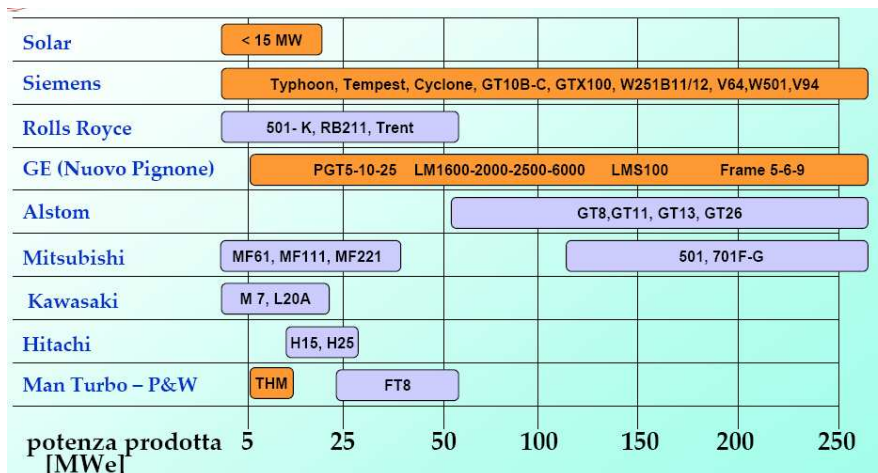



Figura n.35 – I principali costruttori e modelli di turbine a gas[63]

La soluzione scelta è quella di utilizzare turbine Titan 250[64] aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

a)	Potenza nominale	: 21.750 KW_e
b)	Efficienza termica	: 38,9%
c)	Consumo di combustibile	: 210 GJ/ora
d)	Temperatura dei fumi[65]	: 500 ºC
e)	Produzione di vapore[66]	: 90 t/ora
f)	Temperatura dei fumi[67]	: 130 ºC
g)	Sistema di controllo delle emissioni :	: SoLoNOx
h)	Emissioni in atmosfera NO_x[68]	: ≤ 11 mg/Nm^3
i)	Emissioni in atmosfera CO	: ≤ 13 mg/Nm^3
j)	Dimensioni	: lunghezza 16,6 m, larghezza 3,4 m ed altezza 4,6 m.

Per ciò che riguarda il raffreddamento dell'acqua di processo da 33℃ a 28℃ si prevede una torre di raffreddamento ad acqua e/o il teleriscaldamento invernale e l'utilizzo estivo per i magazzini frigoriferi.

L'impianto previsto è all'aperto, su una platea dove sono alloggiati i vari macchinari e le sale quadri elettrici, sala controllo. La turbina a gas e quella a vapore sono alloggiate all'interno di un proprio containers[69] insonorizzato fino a 85 dB(A) ad 1 metro di distanza. Ogni platea sarà di circa 40 metri di lunghezza e 30 di larghezza. La vista prospettica e i parametri urbanistici della centrale sono riportati nei fogli 18 e 19.

[63] *Convegno ARPA – Piacenza, 25 ottobre 2005 "Prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento: gli impianti di produzione di energia"*
[64] *Prodotte dalla Solar Turbines Incorporated*
[65] *In uscita dalla turbina*
[66] *Senza combustione secondaria*
[67] *Al camino*
[68] *Al 15% di O_2*
[69] *Vedi figura 36*

c/o Micron Technology Italia Srl, via A. Pacinotti 7, 67051 Avezzano (AQ)
n. 12 del Registro delle Persone Giuridiche della Prefettura dell'Aquila
tel. 39-0863-423576 fax 39-0863 423638

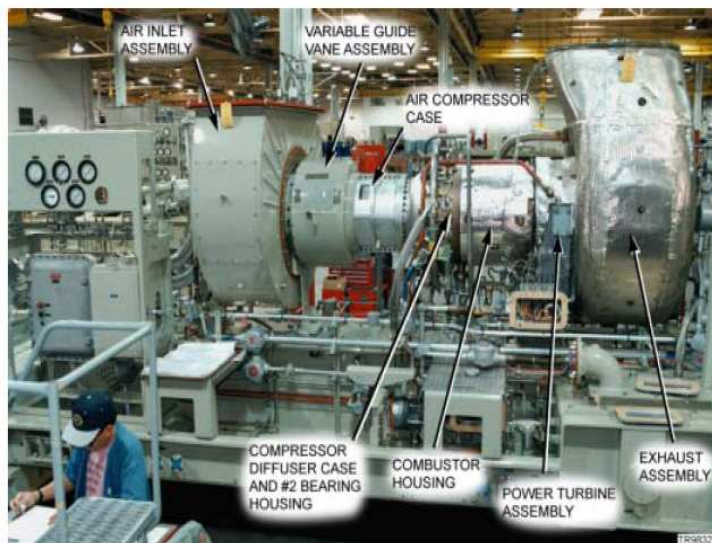



Figura n.36 – Turbina su pianale in fase di approntamento

L'impianto avrá una potenza nominale[70] di 132,5 MW_e e si prevede una produzione elettrica di circa 780 GWh/a. La previsione di produzione elettrica è stata fatta tenendo conto di:

- condizioni atmosferiche (per le due centrali solari a celle fotovoltaiche);
- altitudine del sito, temperatura ambientale, fattore di carico elettrico delle utenze e della produzione di calore (per la centrale turbogas a ciclo combinato).

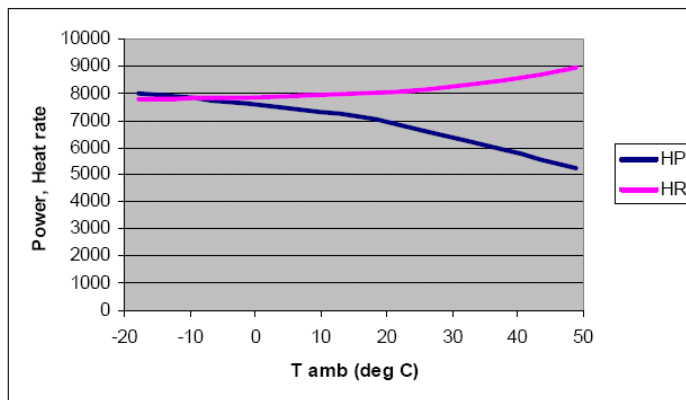



Figura n.37 – Prestazione della turbina in funzione della temperatura ambientale

[70] *Alle condizioni ISO : 15 ºC, livello del mare, 60% di umiditá relativa, zero perdite di adduzione dell'aria e di scarico dei fumi.*

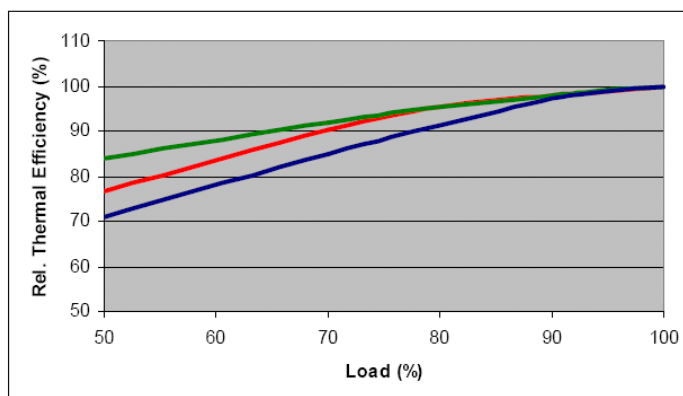



Figura n.38 – Efficienza termica della turbina η/η_{ref} in funzione del carico P/P_{max}

5.3 METODI DI CONTROLLO DELLE EMISSIONI

Le turbine possono avere un sistema di controllo delle emissioni integrata nella macchina, in modo da ridurre la formazioni di NO_x durante il suo funzionamento. Attualmente sono disponibili quattro metodi:

- Sistemi di premiscelazione dell'aria prima della combustione (*lean premix combustors*),
- Xonon Cool Combustion™ Catalytic Combustor.
- Low Emissions Combustor (LEC-III™) Liner,
- Zero-Slip™ Ammonia Reduction Technology.

La premiscelazione dell'aria prima della combustione migliora notevolmente la qualitá della combustione come è evidente dalle immagini seguenti, in cui la fiamma blu (fiamma premiscelata) indica una combustione ottimale.

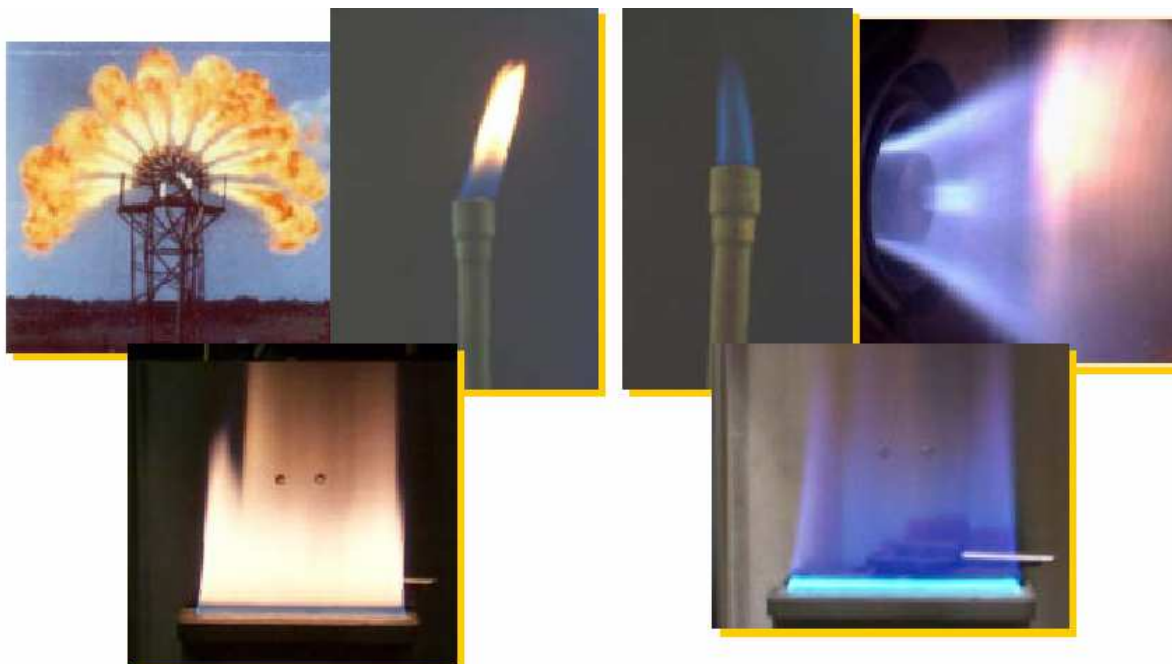



Figura n.39 – Confronto fra la combustione fra fiamma diffusa e fiamma premiscelata[71]

[71] *Luke Cowell – Solar Turbines Incorporated*

La composizione della miscela aria-combustibile è determinante per la quantitá di inquinanti emessa.

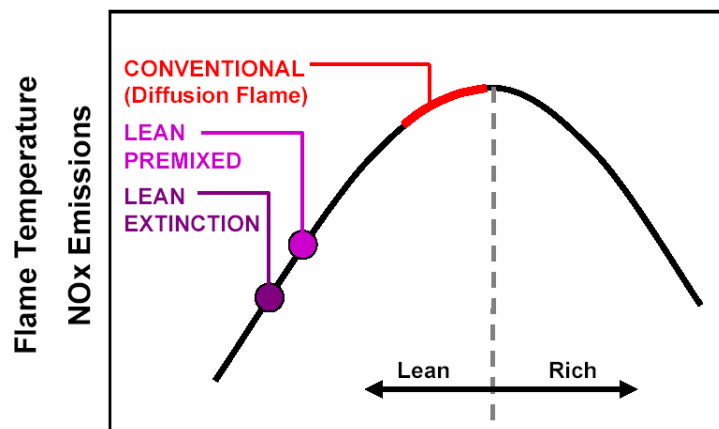



Figura n.40 – Influenza della composizione stechiometrica sulla temperatura di fiamma e sull'emissione di NOx[72]

Per ogni turbina esiste una composizione ottimale della miscela aria-combustibile che produce la quantitá minima di inquinanti.

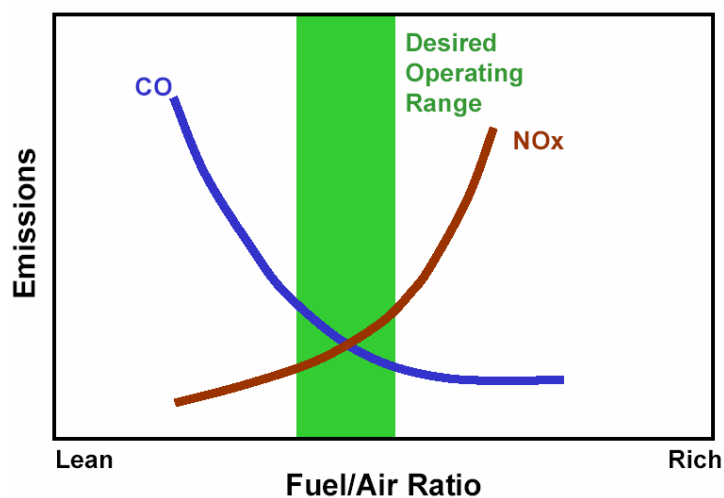



Figura n. 41 – Caratteristiche delle emissioni[73]

Uno dei sistemi di premiscelazione dell'aria prima della combustione è il sistema SoloNOx™, le cui prestazioni nel corso degli anni sono migliorate in modo significativo:

anno 1992 – emissione al camino di 42 ppm;

anno 1995 – emissione al camino di 25 ppm;

anno 2000 – emissione al camino di 15 ppm.

Attualmente risultano venduti oltre 1000 sistemi SoloNOx.

[72] *Luke Cowell – Solar Turbines Incorporated*
[73] *Luke Cowell – Solar Turbines Incorporated*

Lo schema di funzionamento del sistema SoloNOx™ è riportato nella figura seguente.

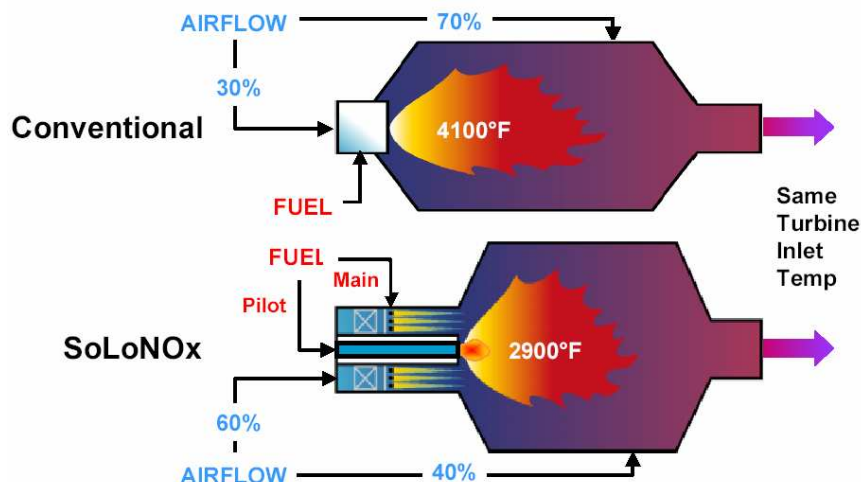



Figura n.42 – Confronto fra combustione tradizionale e sistema SoloNOx™[74]

L'effetto della fiamma pilota sulla stabilitá della combustione è riportata nella figura seguente.

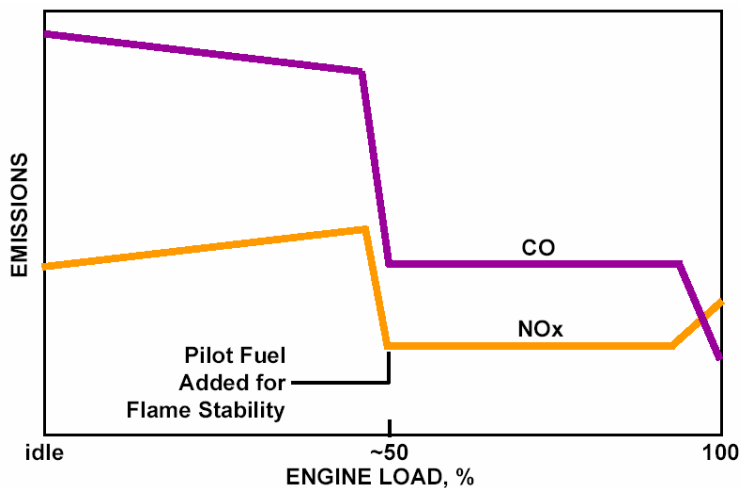



Figura n.43 – Emissioni in funzione del carico della turbina[75]

Pertanto l'adozione per la centrale a ciclo combinato del Sistema Integrato di turbine con sistema di premiscelazione dell'aria prima della combustione (*lean premix combustors*) porterá ad avere emissioni in atmosfera inferiori a quelle previste dalla normativa vigente in Italia (limite di emissione[76] di NOx di 50 mg/Nm^3) e dalle direttive europee. Nella tabella seguente si riportano i valori di emissioni di alcune centrali turbogas dello Stato della California che adottano simili sistemi di controllo della combustione.

[74] *Luke Cowell – Solar Turbines Incorporated*
[75] *Luke Cowell – Solar Turbines Incorporated*
[76] *Parte quinta, allegato II, sezione 4, punto B, art.2 del D. Lgs. 152/2006*

Impianto	*Modello di turbina*	*Potenza elettrica*	*Tipica emissione di NO_x (ppmv a 15% di O_2)*
Solar Turbines	SoloNOx Tital 130S	13	<15
Pratt & Whitney	FT4-C Twin Pac	49	15
GE	LM6000	48	25
GE	Frame 7-1E/EA	85	9/25
GE	Frame7-1FA	171,7	9
Alstom Power	GT24B	188	<25
Alstom Power	GR26B	280,9	<25

Tabella n.37 – Emissioni di NOx da turbina a gas con combustori a premiscelazione[77]

5.4 COMBUSTIBILE UTILIZZATO

Il Sistema Integrato utilizzerá come combustibile una miscela di gas costituita da gas naturale, idrogeno e biogas.

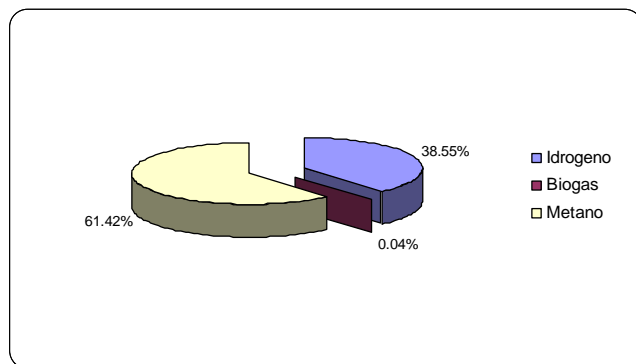



Figura n.44 – Contributo energetico dei tre combustibili alla centrale del Sistema Integrato

La miscelazione di idrogeno con il combustibile commercialmente indicato come "*gas naturale*", essendo diversa la composizione della miscela gassosa, fa cambiare le prestazioni termofluidodinamiche ed energetiche del bruciatore e della camera di combustione. La presenza d'idrogeno, oltre l'azoto dell'aria comburente, rende più complessa la fenomenologia del processo di combustione.

Pertanto non è possibile limitarsi ad utilizzare l'indice di Wobbe[78] per valutare l'intercambiabilitá del gas naturale con una miscela gas naturale-idrogeno a causa delle più stringenti condizioni operative e delle prescrizioni ecologiche che è necessario oggi rispettare.

Pertanto sono da considerare sia i parametri identificativi della miscela di gas combustibile (potere calorifico, aria stechiometrica e tonalità termica della miscela stechiometrica) che la distribuzione delle temperature in camera di combustione in funzione del valore della potenzialità termica utile, l'andamento dei flussi termici locali e globali con corrispondenti prestazioni energetiche e la produzione d'inquinanti e il rispetto delle condizioni operative.

<u>Potere calorifico</u>

Nelle due figure seguenti sono riportati i valori del potere calorifico inferiore di una miscela o di metano, o di propano, o di butano che contenga idrogeno con percentuale crescente da 0 al 100%.

---

[77] *California Environmental Protection Agency, Air Resources Board : "Gas-fired power plant NO_x emission controls and related environmental impacts" maggio 2004*

[78] *Rapporto tra il potere calorifico superiore (o inferiore) del gas e la radice quadrata della densità di tale gas rispetto all'aria. Il calore prodotto dalla combustione di un gas è quindi direttamente proporzionale all'indice di Wobbe.*

Il potere calorifico inferiore in queste condizioni decresce rapidamente con l'incremento di percentuale di idrogeno e varia in funzione del combustibile.

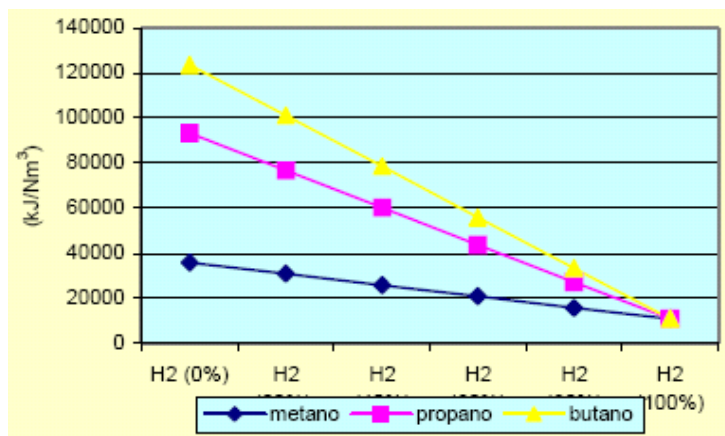



Figura n.45 – Potere calorifico inferiore della miscela contenente idrogeno[79]

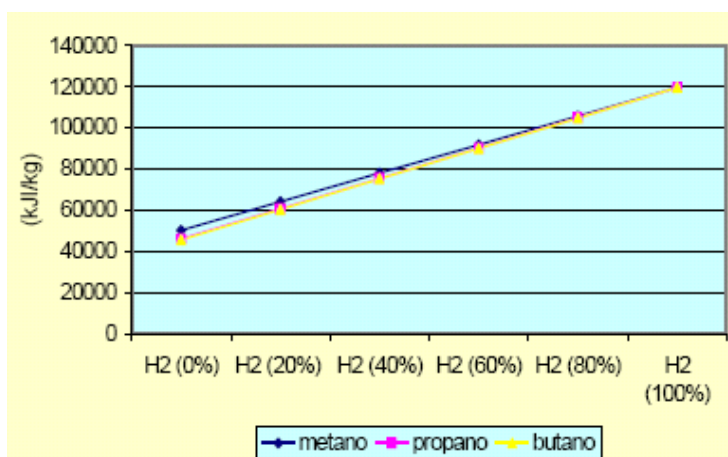



Figura n.46 – Potere calorifico inferiore della miscela contenente idrogeno[80]

Mentre il potere calorifico per unità di massa incrementa di circa il 250% con idrogeno da 0 al 100%; il potere calorifico per unità di volume nel caso di metano scende a circa 1/3, con percentuali di idrogeno da 0 al 100%, e a circa 1/10 nel caso di butano.

Rapporto stechiometrico

Nel diagramma di *figura 47*, riferendosi all'unità di massa, si nota come, al passaggio da una miscela pura, con percentuale nulla di idrogeno, ad una con 100% di H_2, i valori dell'indice relativo al rapporto di miscelazione stechiometrica α possano aumentare di circa il doppio, a prescindere dalla tipologia di combustibile.

Diversamente, riferendosi all'unità di volume in condizioni normalizzate (*figura 48*), i valori di α decrescono in maniera sensibile, e con notevoli variazioni a seconda del combustibile esaminato. Nella peggiore delle situazioni, ovvero nell'esame del butano, che tra l'altro presenta il più alto valore di α tra i tre idrocarburi considerati, si perviene, di fronte ad una miscela con H_2 al 100%, addirittura ad un valore pari a solo l'8% di quello iniziale riferito a miscela pura con C_4H_{10} al 100%.

[79] *"Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei b ruciatori per gas di sintesi", Giammartini, Noviello e Saponaro.*
[80] *"Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei b ruciatori per gas di sintesi", Giammartini, Noviello e Saponaro.*

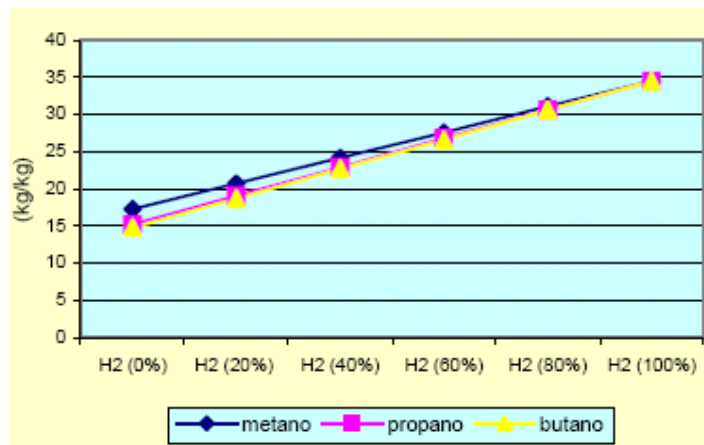



Figura n. 47 – Rapporto di miscelazione stechiometrica[81]

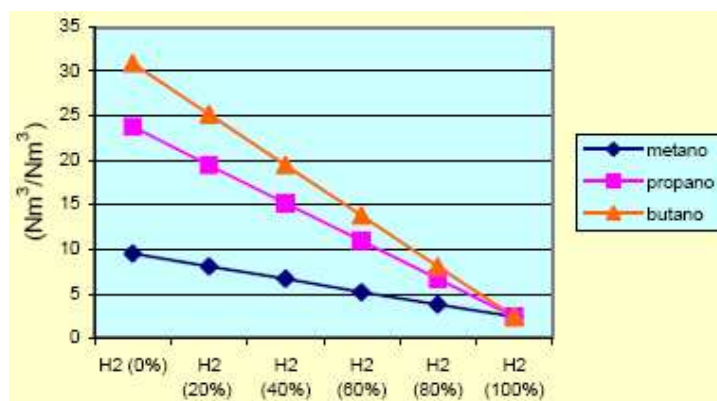



Figura n. 48 – Rapporto di miscelazione stechiometrica[82]

Tonalitá termica

In rapporto di massa, l'andamento della tonalitá termica[83] è crescente con un incremento ben piu' modesto di quelli rilevati nei diagrammi precedenti per gli altri parametri termodinamici; da 0 a 100% vi è un incremento di poco piu' del 20%.

Nel diagramma valutato in termini volumetrici, la tonalità termica di una miscela metano-idrogeno è praticamente costante accennando variazioni significative solamente nel caso di percentuali di idrogeno superiori all'80%.

---

[81] *Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei b ruciatori per gas di sintesi", Giammartini, Noviello e Saponaro*
[82] *Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei b ruciatori per gas di sintesi", Giammartini, Noviello e Saponaro*
[83] *Quantitá di calore sviluppabile dall'unitá di volume normalizzata della miscela*

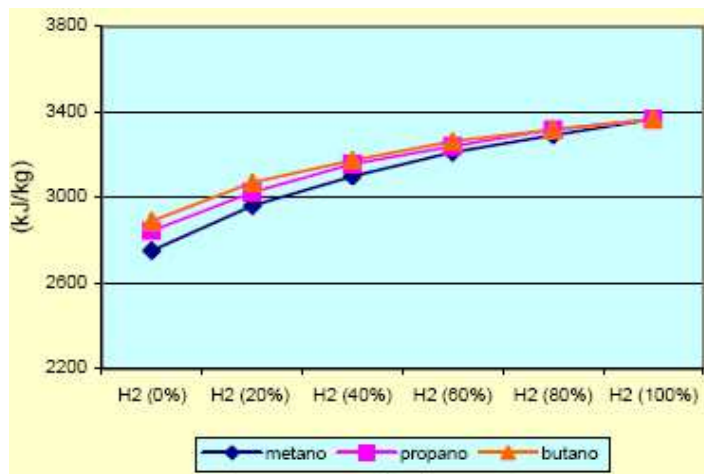



Figura n. 49 – Tonalitá termica[84]

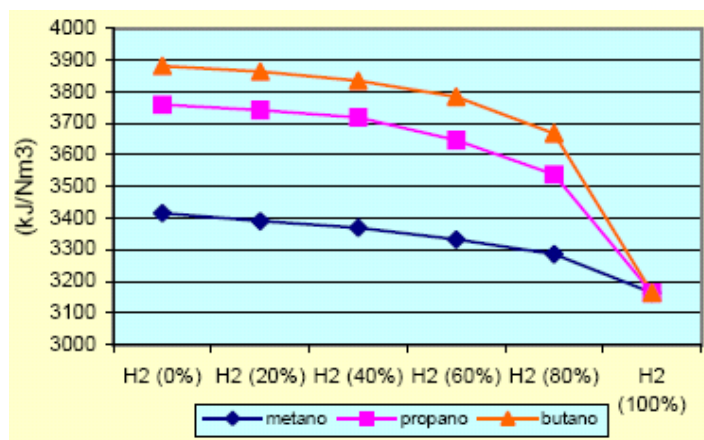



Figura n. 50 – Tonalitá termica

Nelle figure 51 e 52 , sono diagrammate le sezioni di uscita degli ugelli adduttori di combustibile nel caso di velocità, rispettivamente di 5 e 10 metri al secondo, considerando una potenza termica utile pari a 100 kW. Le sezioni sono rapidamente crescenti quando le percentuali di idrogeno presente superano il 50%.

[84] *Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei b ruciatori per gas di sintesi", Giammartini, Noviello e Saponaro*

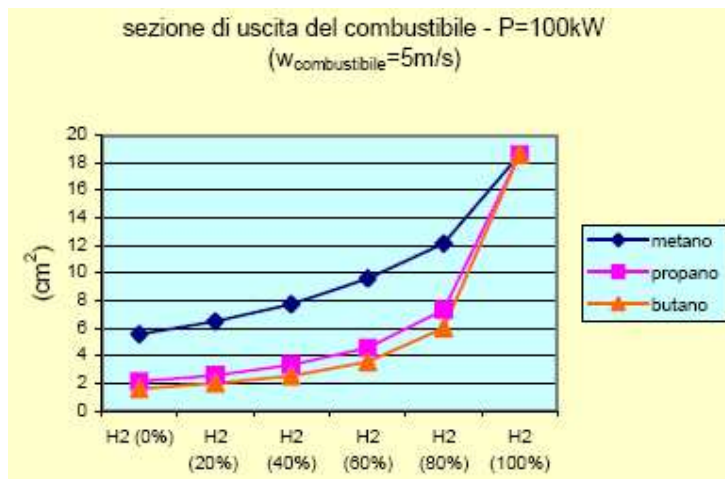



Figura n. 51 – Sezioni di uscita degli ugelli adduttori del combustibile[85]

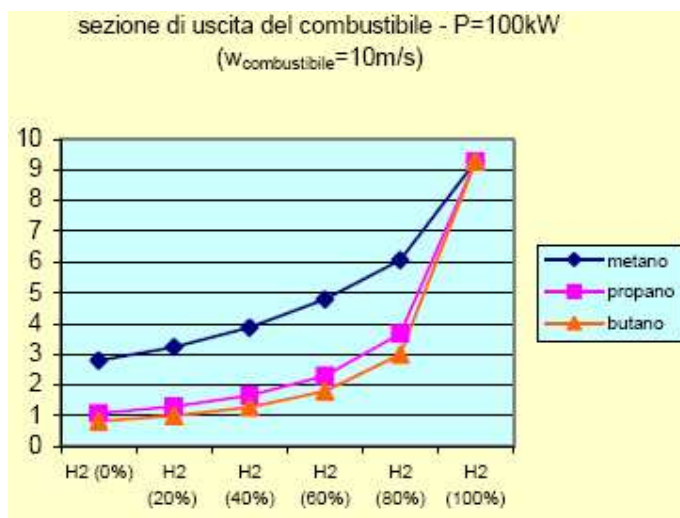



Figura n. 52 – Sezioni di uscita degli ugelli adduttori del combustibile[86]

La temperatura della fiamma e quindi della camera di combustione dipende sia dalla concentrazione di idrogeno che dalla sua velocitá di uscita dagli ugelli. Nelle figure 53, 54, 55 e 56 sono mostrate le relazioni fra i vari parametri che influenzano la cinetica della combustione delle miscele idrogeno-gas naturale.

[85] *Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei b ruciatori per gas di sintesi", Giammartini, Noviello e Saponaro*
[86] *Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei b ruciatori per gas di sintesi", Giammartini, Noviello e Saponaro*

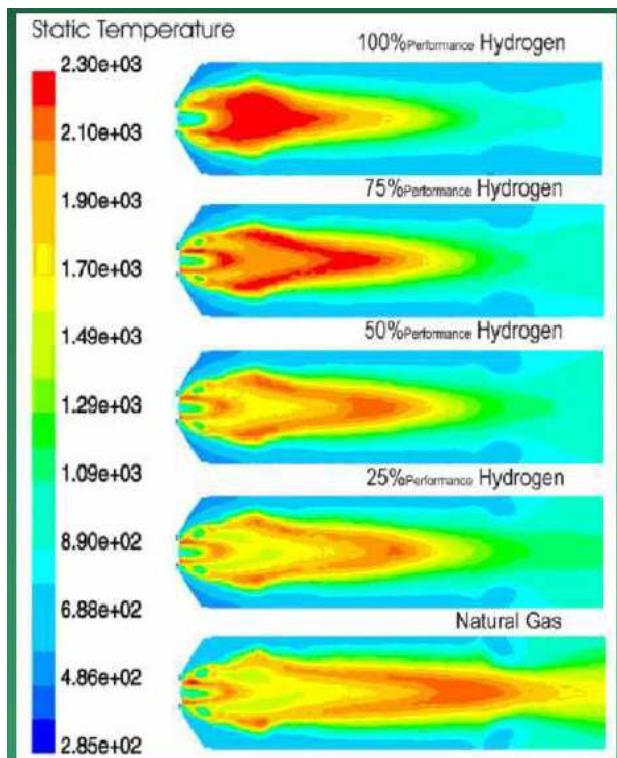



Figura n.53 – Effetto dell' idrogeno sulle reazioni di combustione[87]

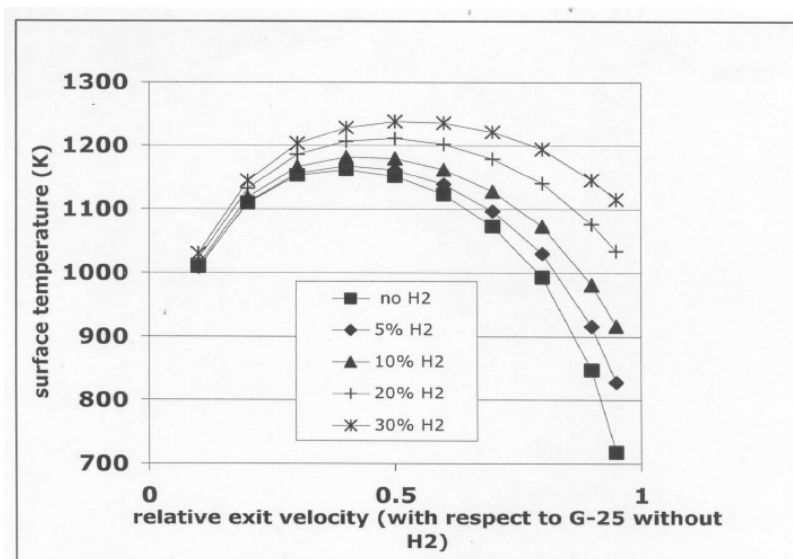



Figura n.54 – Temperatura della camera di combustione per varie velocità di uscita[88]

[87] *IRFR Combustion Journal, 12/2002*

[88] *B.K. Slim - N.V. Nederlandse Gasunie "Should we add hydrogen to the natural gas grid to reduce CO2 emissions? (Consequences for gas utilization equipment)" 23rd World Gas Conference, Amsterdam 2006*

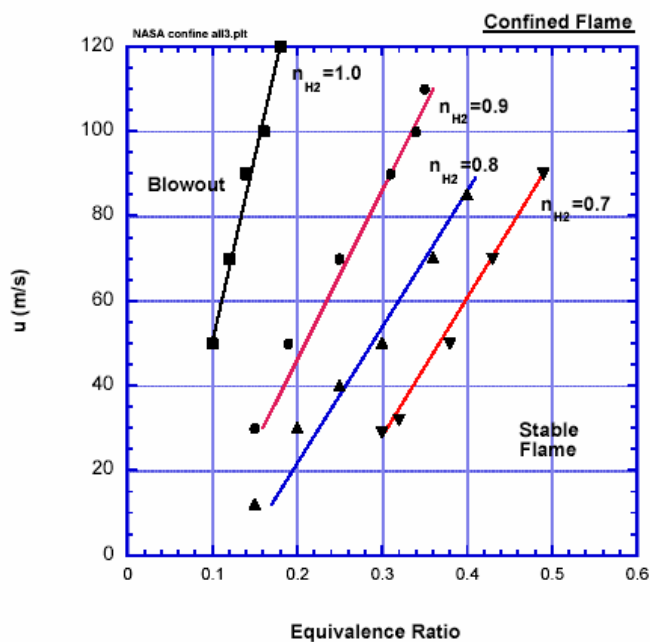



Figura n.55 – Effetto dell'addizione di idrogeno[89]

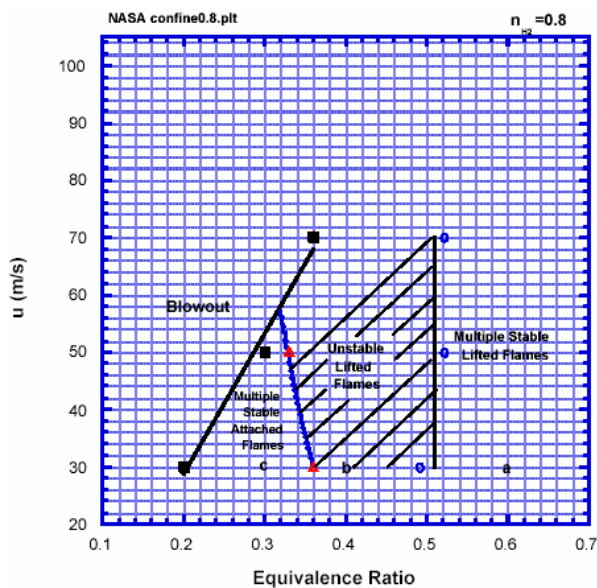



Figura n.56 – Regime di fiamma e mappa della stabilità a n_{H2}=0,8[90]

[89] *Reduced Turbine Emissions Using Hydrogen-Enriched Fuels - R.W. Schefer, Combustion Research Facility,Sandia National Laboratories - Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review NREL/CP-610-32405*

[90] *Reduced Turbine Emissions Using Hydrogen-Enriched Fuels - R.W. Schefer, Combustion Research Facility,Sandia National Laboratories - Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review NREL/CP-610-32405*

Inoltre l'idrogeno, se utilizzato puro come combustibile nelle turbine, ha l'effetto di aumentare le emissioni di NO_x, come evidenziato nella figura seguente.

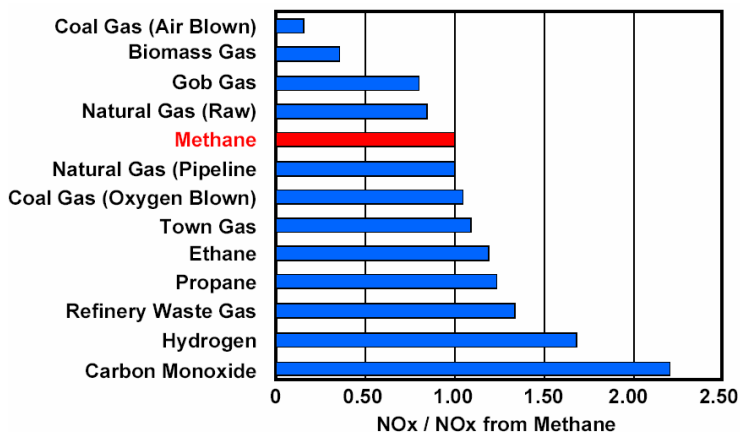



Figura n.55 – Effetto del tipo di combustibile sulle emissioni di NO_x[91]

Ci sono 4 modalitá di utilizzare l'idrogeno insieme al gas naturale:

a) Miscelare una piccola ma variabile quantitá di idrogeno (inferiore al 3% in volume) con il gas naturale. In questo caso ci sono seri problemi di instabilitá della combustione.
b) Miscelare una quantitá fissa di idrogeno al metano (3 – 25% in volume). Ci sono molti impianti che usano idrogeno arricchito con gas naturale in macchine modificate.
c) Utilizzare due combustibili, una miscela con concentrazione fissa di idrogeno (es. *un gas di sintesi*) e il gas naturale. Occasionalemte quando la miscela contenente idrogeno non è disponibile, si passa ad usare il gas naturale.
d) Miscelare una quantitá variabile di idrogeno e metano (fluttuante fra il 5 e il 25% di idrogeno). E' praticamente impossibile un funzionamento corretto dell'impianto.

Nella centrale elettrica del Sistema Integrato si utilizzerá una miscela a concentrazione fissa di idrogeno e gas naturale.

Il calore residuo prodotto dalla centrale elettrica potrá essere utilizzato in due modi:

- Per riscaldare l'acqua di scarico prima del trattamento con i vaporizzatori;
- Per il teleriscaldamento delle serre (in inverno) e il raffreddamento dei magazzini frigoriferi (in estate).

Le torri di raffreddamento previste saranno utilizzate sono nel caso in cui non si riescano ad utilizzare i suddetti due "*pozzi termici*".

[91] *Luke Cowell – Solar Turbines Incorporated*

c/o Micron Technology Italia Srl, via A. Pacinotti 7, 67051 Avezzano (AQ)

n. 12 del Registro delle Persone Giuridiche della Prefettura dell'Aquila

tel. 39-0863-423576 fax 39-0863 423638

6. EMISSIONI IN AMBIENTE

Il Sistema Integrato avrá 7 punti di emissione in atmosferica autorizzati ed un punto di scarico dell'acqua nel canale del Fucino, da utilizzare in caso di emergenza o su richiesta di immissione delle acque per irrigazione. Nei fogli 20 e 21 allegati al progetto sono riportati tutti i punti di emissione in atmosfera e la rete di raccolta delle acque meteoriche.

6.1 EMISSIONI DELL'IMPIANTO DI RECUPERO DELLE ACQUE

Ogni impianto di trattamento delle acque avrá un sistema di collettamento degli sfiati derivanti dai vari reattori e serbatoi. Anche se queste emissioni non sono significative, saranno dotate di sistema di abbattimento specifico per la tipologia di lavorazione da cui derivano gli sfiati. Negli schemi di flusso seguenti sono riportati i sistemi di abbattimento per le varie tipologie di sfiati.

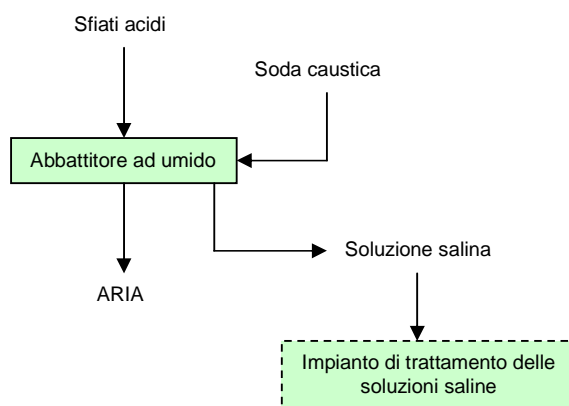



Figura n.58 – Schema di abbattimento degli sfiati acidi

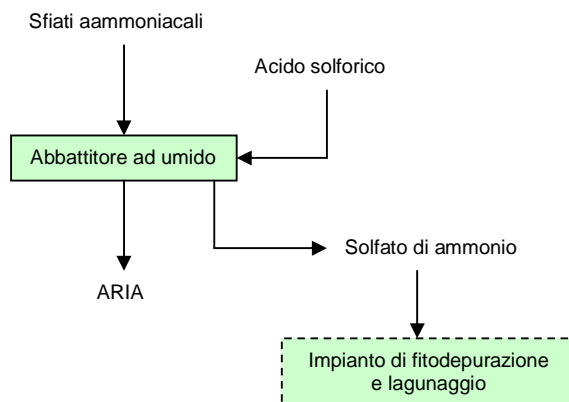



Figura n.59 – Schema di abbattimento degli sfiati ammoniacali

L'assorbimento con soluzioni chimiche negli abbattitori ad umido (*scrubber)* è molto diffuso e si basa sul trasferimento di uno o più composti presenti in fase gassosa in una fase liquida. Il principio di funzionamento è quello di far investire il flusso dell'aria da una corrente di acqua in una sezione detta di *lavaggio*, costituita normalmente da un letto statico.

Gli abbattitori ad umido (*scrubber*) saranno a singolo stadio, con il lavaggio effettuato con acqua in ricircolo utilizzante una soluzione in grado di reagire con l'inquinante. Il dimensionamento dello *scrubber* é effettuato

sulla base di una velocità del flusso gassoso all'interno dello stesso che per gli scrubber a letto statico non deve mai superare 1,5 m/s, con un tempo di contatto nella sezione di lavaggio non inferiore al secondo[92].

Negli scrubber, l'acqua o la soluzione di lavaggio sará riciclata attraverso una pompa centrifuga, ma occorre precedere allo spurgo e al reintegro di acqua pulita in modo da non caricare la soluzione di lavaggio e renderla satura. Indicativamente il parametro del valore di acqua utilizzata è pari 2 l/m^3 di aria nel caso di letti statici.

Per l'abbattimento dei SOV[93] presenti nell'aria si utilizzeranno filtri a carboni attivi, che sfruttano l'adsorbimento del solvente sui carboni attivi, che quindi é condensato sulla superficie del carbone attivo per capillaritá. La capacitá di adsorbimento é influenzata dalla superficie del carbone attivo[94], la concentrazione di SOV, l'umiditá, la temperatura, la velocitá di passaggio, il tempo di contatto e la granulometria del carbone stesso. Poiche' gli impianti di aerazione sono installati in ambienti di enorme volumetria con bassissimo carico inquinante, l'impianto di carboni attivi é a perdere.

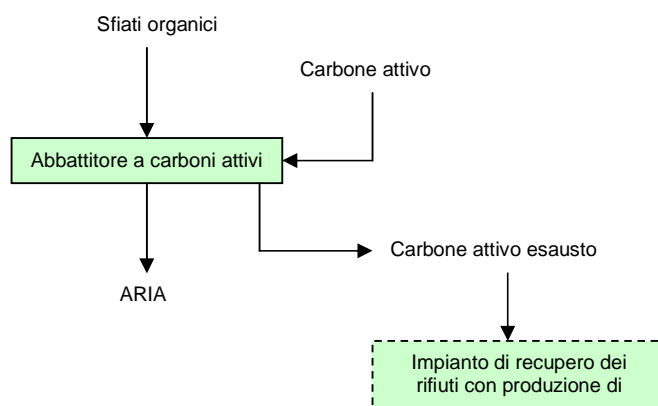



Figura n.60 – Schema di abbattimento degli sfiati organici

Nell'impianto di solidificazione e stabilizzazione avremo emissioni di polveri. Pertanto l'impianto di aerazione sará munito di un sistema di abbattimento a due stadi.

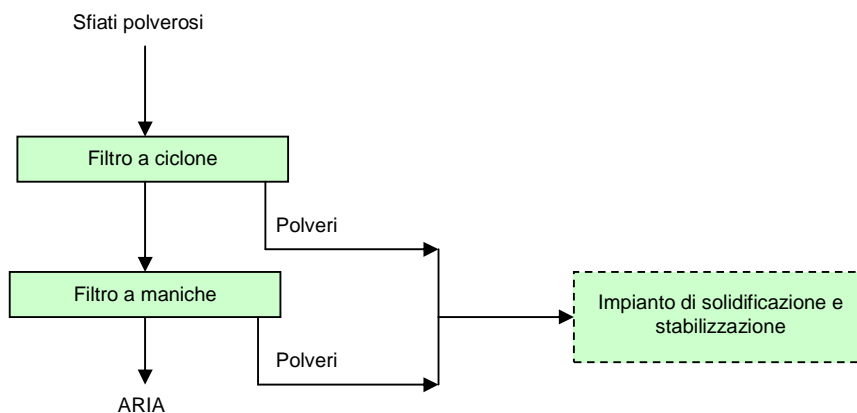



Figura n.61 – Schema di abbattimento degli sfiati polverosi

I cicloni sono unità di separazione delle particelle solide da un flusso gassoso basati sull'impiego della forza centrifuga. Il ciclone è costituito da una parte superiore cilindrica ed una inferiore tronco-conica le cui

[92] *Per gli scrubber a letto flottante la velocità dell'aria può essere elevata fino a 2,5 – 3 m/s.*
[93] *Solventi Organici Volatili*
[94] *Un grammo di carbone attivo puó arrivare ad avere una superficie di 1250 m^2.*

dimensioni dipendono dalla dimensione di taglio desiderata e dalla portata di gas da trattare. Il flusso d'aria è immesso tangenzialmente all'interno dell'apparecchiatura nella porzione superiore, in modo da ottenere un moto a spirale all'interno dell'apparecchiatura stessa. Le particelle solide di dimensioni superiori a quella di taglio vengono raccolte da una tramoggia posta nella parte inferiore del ciclone, mentre il flusso gassoso viene raccolto superiormente tramite un condotto centrale. Quindi i cicloni saranno utilizzati per la separazione di particelle solide relativamente grossolane.

I filtri a maniche sono costituiti da serie di elementi tubolari (*maniche*) in feltro, tessuti particolari o membrane a base di fibre sintetiche, in grado di trattenere il particolato solido attraverso meccanismi di filtrazione superficiale. Il funzionamento di un filtro a maniche può essere del tipo a captazione interna o esterna, a seconda che il flusso dei gas da depurare sia diretto dall'interno verso l'esterno della manica o viceversa. L'incremento dello spessore di materiale solido depositato sulla superficie delle maniche dà luogo ad un aumento dell'efficienza di rimozione delle particelle solide e, contemporaneamente, ad un aumento delle perdite di carico nell'attraversamento del letto di materiale solido stesso. Questi depolveratori saranno usati per il trattenimento di polveri più fini, con un rendimento elevatissimo, nell'ordine del 99,99%. Con queste apparecchiature si garantirà allo scarico un livello di polverosità inferiore ai 10 mg/Nm^3.La perdita di carico considerata è pari a circa 120 – 150 mmH$_2$O. Poichè nel trattamento di aria polverosa proveniente dai rifiuti occorre tener presente che, a causa della possibilità di avere aria umida, le particelle da trattare si possono caricare elettrostaticamente, si utilizzerà un tessuto con trattamento antistatico permanente.

I depolveratori a tessuto saranno installati in depressione cioè con il ventilatore centrifugo posto a valle e per scaricare le polveri captate hanno bisogno di un sistema di scarico che è costituito da una coclea di evacuazione e da una valvola rotativa. La pulizia sarà effettuata per via meccanica (mediante scuotimento o vibrazione delle maniche).

6.2 EMISSIONI DELL'IMPIANTO DI RECUPERO DEGLI SCARTI AGROINDUSTRIALI

Le tre principali fonti di polveri ed odori sono il deposito degli scarti agroalimentari, i digestori anaerobici, la filtratura del digestato e la fase di compostaggio.

Le polveri sono prodotte principalmente nella fase di deposito sul pavimento di scarico a raso. Per contenere la presenza di polveri diffuse negli ambienti di lavoro, tutti gli edifici chiusi saranno mantenuti in leggera depressione e l'aria aspirata sara' inviata ad uno specifico trattamento di depolverazione, successivamente seguito da un trattamento di deodorizzazione.

Il dimensionamento della portata di ventilazione complessiva necessaria sara' 3 ricambi/ora. Al fine di assicurare un regolare sistema di ventilazione saranno installati 2 ventilatori di portata pari alla metà di quella totale necessaria (80.000 m^3/ora).

Per limitare la diffusione delle polveri saranno adottate particolari precauzioni nelle operazioni di scarico: sará adottato un sistema di caricamento a ciclo chiuso, attraverso nastri trasportatori chiusi in grado di alimentare direttamente le macchine.

Più in generale, tutti i sistemi di movimentazione quali nastri trasportatori, coclee, redler, ecc., saranno dotati di involucri e muniti di tramogge di carico e scarico a tenuta di polvere per evitare la dispersione di emissioni e saranno applicati efficienti impianti di aspirazione localizzata sulle parti di macchinario che dovessero necessariamente rimanere aperte.

Le emissioni odorose prodotte dall'impianto di compostaggio sono dovute all'instaurarsi di processi di metabolismo aerobico e/o anaerobico dei microrganismi responsabili della biodegradazione del materiale organico, che producono un insieme di composti odorosi tra cui molecole sia inorganiche come l'ammoniaca e l'acido solfidrico, sia organiche come gli acidi organici volatili, composti aromatici, mercaptani e alchilsolfuri.

Il loro controllo ed abbattimento può essere effettuato attraverso una strategia integrata che prevede:

- una corretta gestione dell'impianto (evitare stoccaggi prolungati, prevenire fenomeni di anaerobiosi nella biomassa, ecc.) e del processo (temperatura, umidità, tempi di residenza, ecc.);
- ambienti completamente chiusi e in depressione, con aspirazione forzata, di tutti i volumi destinati alle fasi di ricevimento, stoccaggio, ripresa e alimentazione al trattamento dei rifiuti;
- un trattamento delle arie esauste provenienti dai sistemi di aspirazione di tutto l'impianto prima della immissione in atmosfera.

Tutti i locali e le apparecchiature saranno sottoposti ad aspirazione di aria in modo da evitare sfiati verso l'esterno e da essere inviati ad un sistema di abbattimento a piú stadi, secondo il diagramma di flusso riportato nella figura seguente.

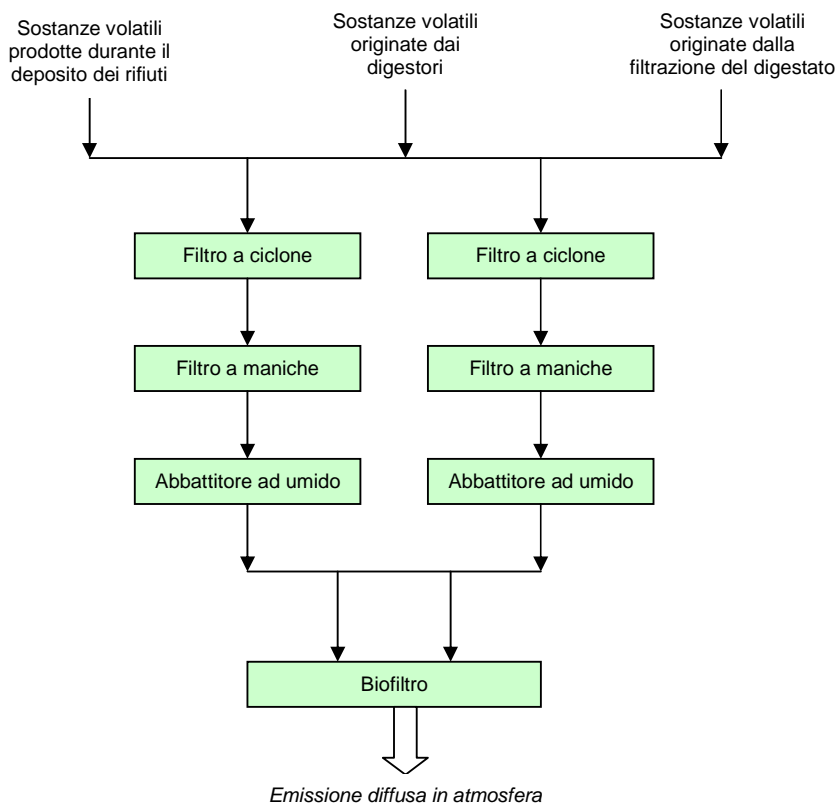



Figura n.62 – Sistema di abbattimento delle emissioni

L'impianto di abbattimento é costituito da due linee distinte in modo da garantire la depressione degli ambienti in caso di fermo di metá dell'impianto di trattamento.

I biofiltri sono costituiti da un letto di materiale filtrante, collocato in una vasca impermeabilizzata. Tale materiale, costituito generalmente da torba, cippato di legno, compost vegetale e miscele, è adagiato su un grigliato al di sotto del quale viene creato uno spazio utilizzato per l'immissione dell'aria da trattare. In alternativa al grigliato può essere realizzata una rete di tubi forati dai quali viene immesso il flusso da deodorizzare. La vasca impermeabilizzata é realizzata con sistemi modulari metallici. Il materiale filtrante, che avrá uno spessore di circa un metro e buone proprietà fisico-meccaniche (buon drenaggio e basse perdite di carico) ed una bassa degradabilità biologica, rappresenta il supporto sul quale si genera la flora batterica attiva in grado di metabolizzare la maggior parte dei composti naturali, organici e inorganici, attraverso una serie notevole di reazioni biologiche (ossidazioni, riduzioni, idrolisi). I microrganismi impiegati sono svariati (batteri, funghi, lieviti) e solitamente sono composti da ceppi microbici "selvaggi" ovvero già naturalmente presenti nel materiale che costituisce il biofiltro. Dall'analisi della letteratura i composti degradabili tramite i sopraindicati processi possono essere schematicamente suddivisi in:

- composti inorganici, prevalentemente rappresentati da ammoniaca ed idrogeno solforato;
- composti costituiti da miscele di composti solfurici (metil ed etilmercaptani), composti amminici , composti carbonilici ed acidi grassi a catena corta
- composti organici di diversa natura chimica (idrocarburi alifatici, aromatici, eterociclici, ecc.),
- composti alifatici alogeno-sostituiti quali idrocarburi alifatici clorurati.

L'efficienza di abbattimento di questi inquinanti varia a seconda delle condizioni chimico- fisiche a cui i microrganismi sono sottoposti, oltre che da parametri progettuali come il carico superficiale, ed il tempo di contatto.

Per quanto riguarda il primo aspetto, il principio su cui si basa il biofiltro è principalmente legato alla possibilità di creare per i microrganismi in esso residenti, un ambiente adatto alla loro sopravvivenza in termini di disponibilità di ossigeno, adeguata temperatura, pH, umidità e presenza di nutrienti:

- *Ossigeno:* l'ossigeno necessario ai batteri aerobici è garantito dall'apporto di aria presente nel composto odoroso che, grazie alla struttura del mezzo filtrante caratterizzata da una bassa perdita di carico (porosità tra 80 e 90%), rifornisce omogeneamente tutto il biofiltro.
- *Temperatura:* deve essere mantenuta tra i 15 e i 35℃ osservando che in questo range si ottengono le più alte velocità di degradazione.
- *pH:* il pH necessario per mantenere in vita tutte le specie batteriche deve essere mantenuto tra 7 e 8.5 facendo attenzione che la presenza di composti a carattere acido/base (H_2S, NH_3, ecc) determina ampie variazioni di pH del mezzo filtrante e conseguenti problemi alla crescita microbica. In alcuni casi, per aumentare la vita del mezzo filtrante, si usa tamponare il pH tramite l'aggiunta di calce, calcare o agenti alcalini.
- *Umidità:* mantenere un grado di umidità elevato nel mezzo filtrante (50-70%) è indispensabile perché nel film acquoso che bagna e/o umidifica il materiale si sciolgono le sostanze da depurare rendendosi così disponibili per l'assorbimento endocellulare ed il successivo utilizzo metabolico da parte dei microrganismi. Il riscaldamento del biofiltro, dovuto al prodotto dell'attività microbica legata alla degradazione dei composti odoriferi, provoca una evaporazione dell'acqua determinando la necessità di rifornirla, in base al bilancio termico del biofiltro, tramite spruzzatori disposti sopra o dentro il mezzo filtrante oppure umidificando l'aria influente.
- *Nutrienti*: il mezzo filtrante contiene generalmente tutti i micronutrienti necessari alla crescita microbica, mentre le fonti di energia, di carbonio e di azoto devono provenire dall'aria trattata. Per carichi odoriferi bassi e discontinui deve essere previsto un apporto suppletivo di tali sostanze.

La batteria di biofiltri avrá carichi superficiali compresi tra i 50 e i 200 $m^3/h{\cdot}m^2$, tempi di residenza compresi nell'intervallo 30-60 s ed altezze del mezzo filtrante maggiori di un metro.

La definizione e l'ottimizzazione di tutti questi parametri determina valori elevati dell'efficienza di processo i quali possono variare, in base ai composti, tra il 50 e il 90%, con punte per alcune sostanze facilmente degradabili, quali alcoli, eteri, aldeidi, chetoni, esteri, ed idrocarburi aromatici monociclici, intorno al 99%.

Il limite di funzionamento del biofiltro è legato essenzialmente al progressivo consumo del materiale che costituisce il biofiltro stesso poiché, essendo di origine naturale, tende a consumarsi per ossidazione ad anidride carbonica, con gli stessi processi con cui viene depurato l'effluente filtrato. Il consumo del letto, la cui entità e significativamente funzione del materiale con cui è composto, porta alla progressiva perdita della sua originaria porosità, e ad un suo inevitabile intasamento con aumento delle perdite di carico fino a valori tali da imporre o un rivoltamento o la completa sostituzione.

La combinazione di abbattitori ad umido (*scrubber*) e di biofiltrazione é particolarmente efficace. In questo caso, infatti, il primo stadio consente di abbattere fino ad un 50% delle sostanze odorose e satura l'aria di umidità che contrasta la tendenza alla disidratazione del biofiltro sottoposto a continua insufflazione. Il pretrattamento a monte del biofiltro esercita anche un vantaggioso effetto di raffreddamento dell'aria riducendo la potenzialità odorigena e la capacità disidratativa nei confronti del biofiltro.

6.3 EMISSIONI DELL'IMPIANTO DI RECUPERO DEI RIFIUTI

L'impianto di recupero dei rifiuti con produzione di idrogeno ha due sole tipologie di punti di emissione: punti di emissioni degli impianti di aerazione degli edifici e punti di emissione di emergenza (imposti dalla normativa antincendio).

I depositi dei rifiuti saranno tutti in depressione e il relativo impianto di aerazione sara' dotato di un sistema di abbattimento specifico in funzione del tipo di deposito, anche se la presenza di inquinanti e' bassissima. L'aria emessa dagli impianto di aerazione dei depositi dei rifiuti solidi pericolosi e non pericolosi puó contenere basse concentrazioni di polveri che saranno in ogni caso abbattute dai due stadi di filtrazione (*a ciclone e a maniche*).

In caso di incendio i fumi saranno raffreddati, depurati degli inquinanti acidi mediante un abbattitore ad umido a soda caustica e poi depurati dei COV tramite i filtri a carbone attivo (*figura 63*).

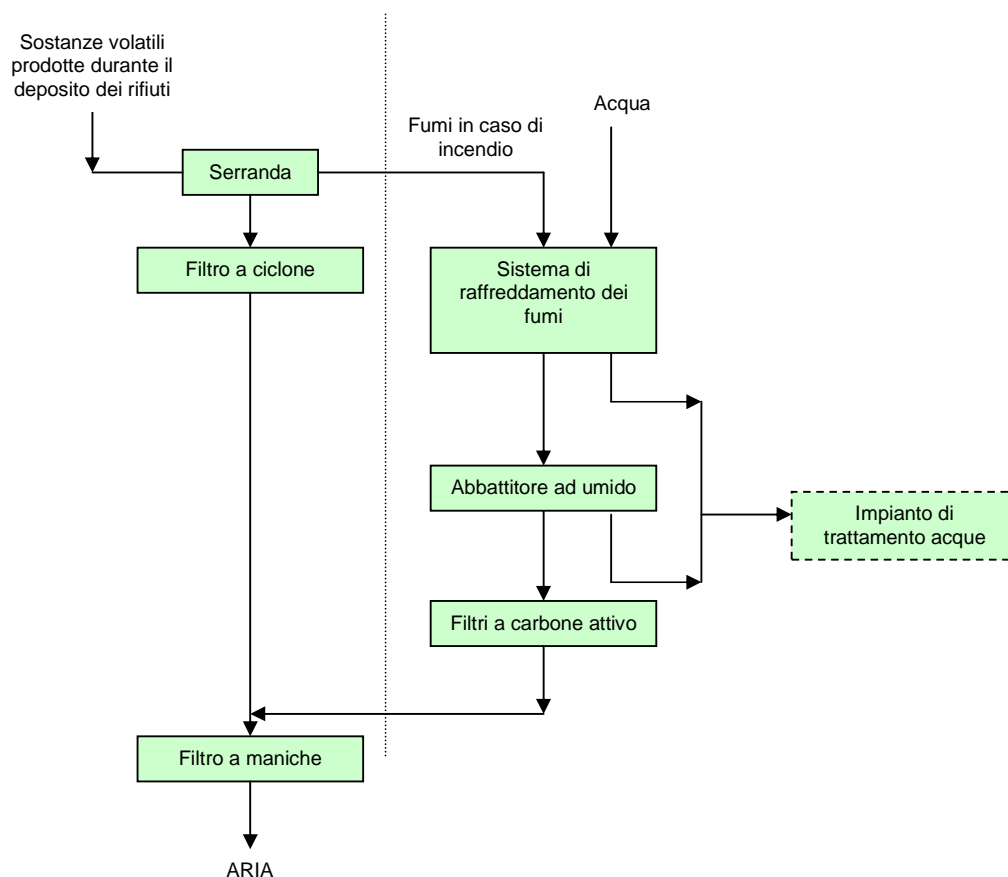



Figura n.63 – Sistema di abbattimento delle emissioni dei depositi dei rifiuti solidi

L'aria emessa dagli impianto di aerazione dei depositi dei rifiuti liquidi e fangosi pericolosi puó contenere basse concentrazioni di COV che saranno in ogni caso abbattute da un filtro a carbone attivo.

In caso di incendio i fumi saranno raffreddati, depurati degli inquinanti acidi mediante un abbattitore ad umido a soda caustica e poi depurati dei COV tramite i filtri a carbone attivo. Infine le residue polveri saranno abbattute dal filtro a maniche (*figura 64*).

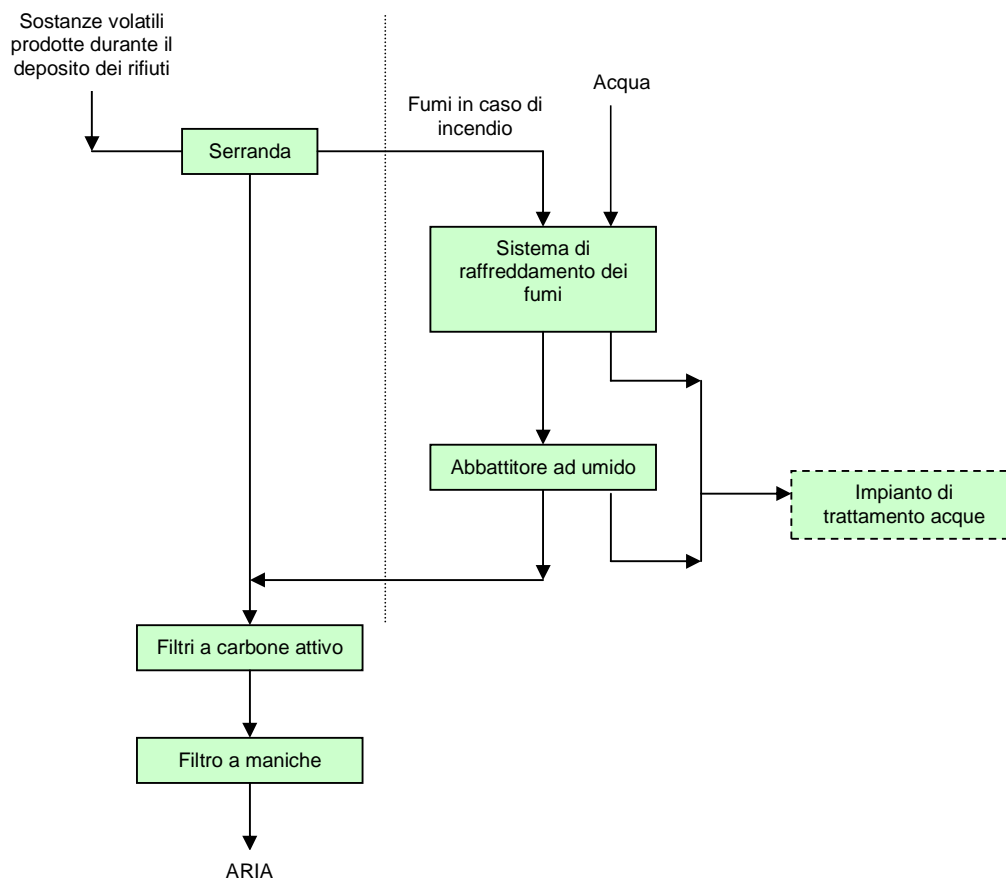



Figura n.27 – Sistema di abbattimento delle emissioni dei depositi dei rifiuti liquidi e fangosi

6.4 EMISSIONI DA CENTRALI TURBOGAS A CICLO COMBINATO

Le tipiche emissioni da una turbuna a gas sono riportate nella tabella seguente. Esse sono di due categorie: le specie maggiori (CO_2, N_2, H_2O e O_2) sono presenti in concentrazioni percentuali, le specie minori (*pollulants*) come CO, NO_x, SO_x, idrocarburi incombusti (*UHC*) e particolato sono presenti in concentrazioni di parti per milione.

Specie maggiori	Concentrazione tipica *(% volume)*	Sorgente
Azoto (N_2)	66 - 72	Aria di ingresso
Ossigeno (O_2)	12 - 18	Aria di ingresso
Biossido di carbonio	1 - 5	Ossidazione del carbonio
Vapor d'acqua	1 - 5	Ossidazione dell'idrogeno

Tabella n. 39 – Emissione di turbine a gas

Inquinanti (*Pollulants*)	Concentrazione tipica (ppmV)	Sorgente
Ossido nitrico (NO)	20 - 220	Ossidazione dell'azoto atmosferico
Biossido di azoto (NO_2)	2 -20	Ossidazione del combustibile
Ossido di carbonio (CO)	5 – 330	Incompleta ossidazione del combustibile
Biossido di zolfo	Tracce – 100	Ossidazione della componente organica contenente zolfo
Triossido di zolfo	Tracce – 4	Ossidazione della componente organica contenente zolfo
Idrocarburi incombusti	5 – 300	Incompleta ossidazione del combustibile o dei prodotti intermedi
Particolato	Tracce – 25	Ingresso con l'aria, ceneri del combustibile, incompleta ossidazione del combustibile o dei prodotti intermedi

Tabella n.40 – Emissione di turbine a gas[95]

Per valutare le emissioni in atmosfera possiamo utilizzare i fattori di emissione riportati nella tabella seguente.

Sostanze inquinanti	Fattori di emissione (*g/GJ*)
CO_2	47.332
NO_x	23,0
CO	23,0
CH_4 + N_2O	4,99
SO_2	1,46
TOC	4,73
Idrocarburi reattivi	0,43
PM_{10} (filtrabile)	0,82
PM_{10} (condensabile)	2,02
PM_{10} (totale)	2,84
Metalli pesanti totali[96]	0,02

Tabella n.40 - Fattori di emissioni degli inquinanti prodotti dalla combustione del metano in turbine a gas[97]

Le emissioni di particolato sottile sono suddivise in due parti, il particolato filtrabile e quello condensabile. La prima frazione è quella rilevabile nei fumi mediante prelievi su filtro. La frazione condensabile non si presenta solida nelle condizioni di prelievo a camino ma si trasforma in particolato (*sottile*) una volta portata a temperatura ambiente;
La principale emissione di microinquinanti organici è costituita a formaldeide che nel turbogas viene prodotta in quantità più elevata rispetto alla generica combustione del as naturale, probabilmente a seguito delle elevate temperature in gioco;
Per i metalli pesanti non si evidenziano elementi prevalenti rispetto ad altri, trattandosi in genere di elementi presenti in tracce nel pulviscolo trascinato durante la fase di estrazione el gas e trasporto nei metanodotti.

---

[95] *Gas turbine emissions and control – Roointon Pavri e Gerald D. Moore, GE Energy Services, Atlanta, GA.*
[96] Il valore *non é riferito all'uso specifico in centrali a turbogas e va quindi riferiti alla combustione del metano in genere, incluso ad esempio l'uso di metano per riscaldamento in una città metanizzata o l'impiego per autotrazione*
[97] *US-EPA – Compilation of emission factors – AP-42, Cap. 3.1 External Combustion sources – Stazionary Gas Turbines.*

Inoltre le emissioni di NO_x dipendono non solo dalla combustione ma anche dalle condizioni ambientali (pressione atmosferica, temperatura ambiente ed umiditá relativa dell'aria). Nei tre diagrammi seguenti si riportano la variazione delle emissioni di NO_x in funzione delle condizioni ambientali.

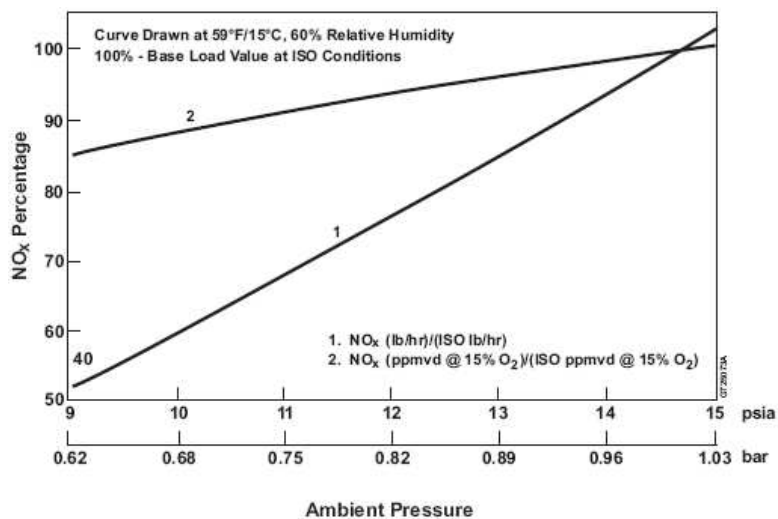



Figura n. 65.- Influenza della pressione ambientale sull'emissione di NO_x[98]

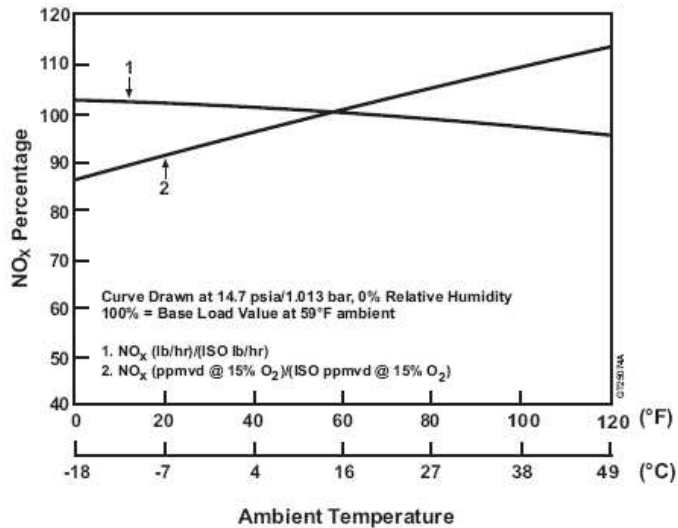



Figura n. 66.- Influenza della temperatura ambientale sull'emissione di NO_x[99]

---

[98] *Gas turbine emissions and control – Rointon Pavri e Gerald D. Moore, GE Energy Services, Atlanta, GA.*

[99] *Gas turbine emissions and control – Rointon Pavri e Gerald D. Moore, GE Energy Services, Atlanta, GA.*

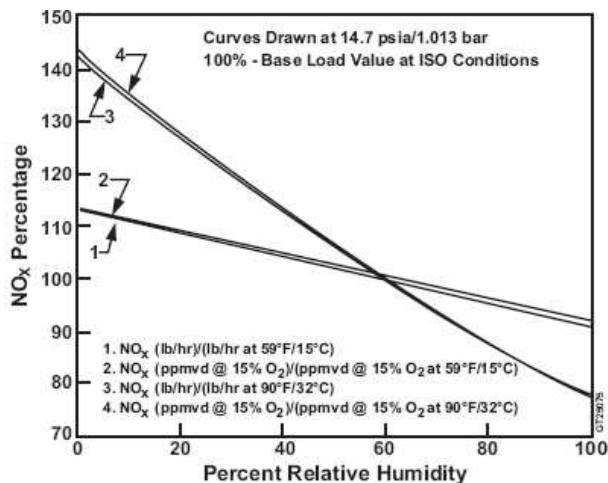



Figura n.67.- Influenza della umiditá relativa dell'aria sull'emissione di NO_x[100]

Sulla base della producibilitá prevista e dei fattori di emissione si è calcolata l'emissione totale annua prevista per i vari inquinanti, sia nel caso di alimentazione della centrale del Sistema Integrato con solo gas naturale sia nel caso di alimentazione della centrale con una miscela di idrogeno-gas naturale.

	Unitá di misura	Gas naturale	Miscela gas naturale - idrogeno
CO_2	t/a	111941	68751
NOx	t/a	54	61.7
CO	t/a	54	33.4
CH_4+N_2O	t/a	12	7.2
SO_2	t/a	3	2.1
TOC	t/a	11	6.9
Idrocarburi reattivi	t/a	1.0	0.6
PM_{10} (filtrabile)	t/a	1.9	1.2
PM_{10} (condensabile)	t/a	4.8	2.9
PM_{10} (totale)	t/a	6.7	4.1
Metalli pesanti totali	t/a	0.05	0.03

Tabella n.41 – Confronto fra le emissioni nei due scenari (solo gas naturale e miscela gas naturale-idrogeno)

[100] *Gas turbine emissions and control – Roointon Pavri e Gerald D. Moore, GE Energy Services, Atlanta, GA.*

Il vantaggio di utilizzare idrogeno è evidente :

- Riduzione del 39% delle emissioni di biossido di carbonio (CO_2),
- Riduzione delle emissioni di tutti gli altri inquinanti, tranne gli ossidi di azoto (NO_x).

Le due figure seguenti mostrano il confronto fra le emissioni delle due soluzioni tecniche possibili.

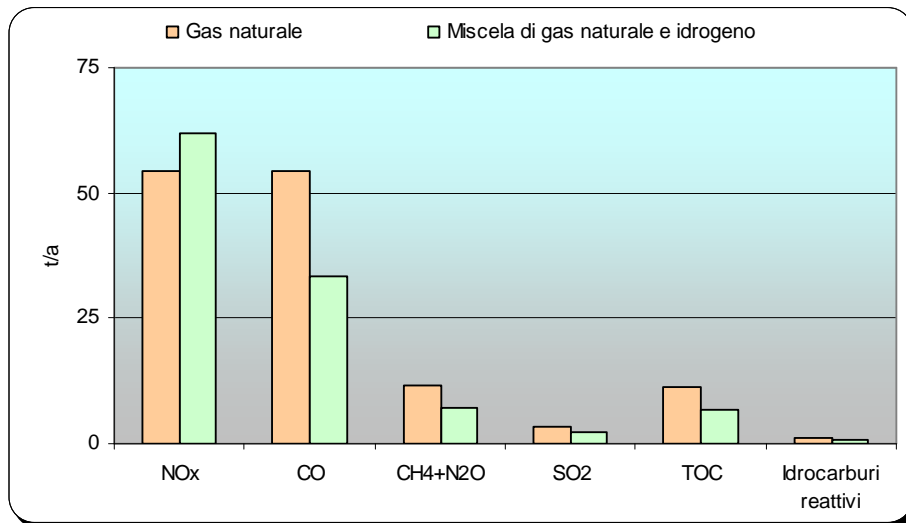



Figura n.68 - Confronto fra le emissioni nei due scenari (solo gas naturale e miscela gas naturale-idrogeno)

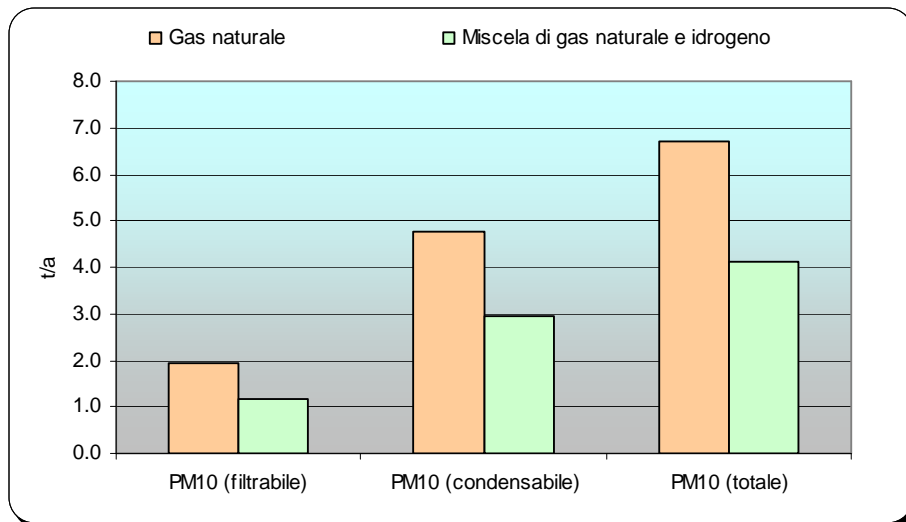



Figura n.69 - Confronto fra le emissioni nei due scenari (solo gas naturale e miscela gas naturale-idrogeno)

6.4 SISTEMI DI ABBATTIMENTO DELLA CENTRALE A CICLO COMBINATO

L'impiego delle turbine a gas per la produzione di energia elettrica ha avuto negli ultimi due decenni un'espansione considerevole che è stata favorita dagli sviluppi tecnologici, dalla flessibilità della scelta del sito e dell'esercizio dell'impianto e dai costi di investimento relativamente bassi. Alle considerazioni precedenti occorre aggiungere che in un mercato competitivo l'installazione di sistemi di piccola taglia per la generazione distribuita è più remunerativa di quella di impianti di grande capacità in zone isolate. Ciò ha portato a rivolgere una maggiore attenzione alle emissioni inquinanti con particolare riferimento agli NOx e a imporre dei controlli più rigorosi sul loro rilascio al camino. Nella figura seguente sono riportate le efficienze delle tipologie di sistemi di abbattimento.

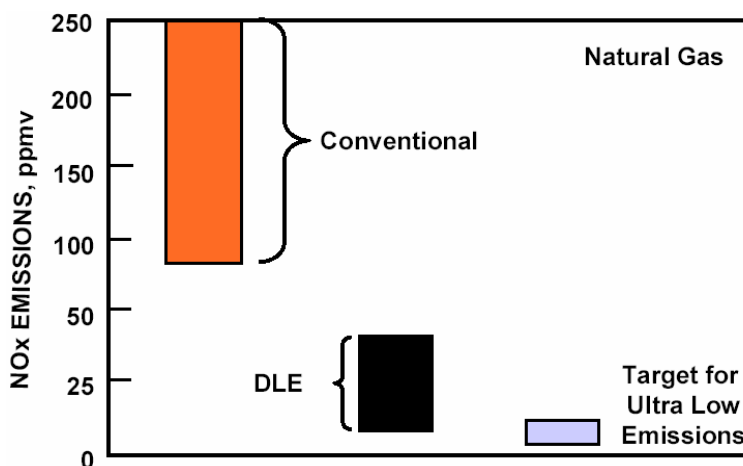
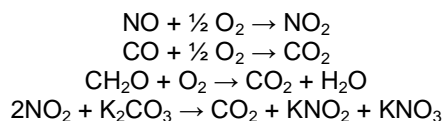



Figura n. 70 – Prestazioni dei vari tipi di sistemi di abbattimento[101]

I sistemi di abbattimento degli NO_x che possono essere utilizzati sono:

- SCR (Selective Catalytic Reduction);
- SCONOx™ e la sua versione aggiornata Emx™.

Il processo SCONOx™, sviluppato da Goal Line Environmental Technologies, combina un catalizzatore di ossidazione di NO, CO e dei VOC con un sorbente ed è in grado di operare a valori della temperatura compresi tra 150 e 370 °C. La cinetica chimica dei processi SCONOx™ e Emx™ e' la seguente:

$$NO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NO_2$$
$$CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$$
$$CH_2O + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$$
$$2NO_2 + K_2CO_3 \rightarrow CO_2 + KNO_2 + KNO_3$$

La certificazione del processo SCONOx, effettuata dall'Air Resources Board su richiesta di Goal Line Environmental Technologies, ha evidenziato che la presenza di tracce di composti solforati nei gas combusti interferisce significativamente con la sua efficienza e che quindi è essenziale l'adozione di un sistema di desolforazione del gas naturale o dei gas combusti.
I risultati della certificazione hanno mostrato che il sistema SCONOx™ consente di raggiungere la *Lowest Achievable Emission Reduction* così che il suo impiego deve essere preso in considerazione quando le restrizioni sulle emissioni inquinanti sono particolarmente severe.
Il sistema SCOSOx™, che concettualmente utilizza gli stessi principi e viene installato a monte di quello SCONOx™, è stato sviluppato per la desolforazione dei gas combusti ed ha un'efficienza di abbattimento degli SOx del 95%.

[101] *Luke Cowell – Solar Turbines Incorporated*

La rigenerazione del catalizzatore SCOSOx™ é effettuata utilizzando una miscela gassosa contenente idrogeno oppure inviando direttamente il metano sul letto catalitico.

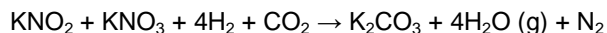
$$KNO_2 + KNO_3 + 4H_2 + CO_2 \rightarrow K_2CO_3 + 4H_2O\ (g) + N_2$$

Nel caso del Sistema Integrato si utilizzerá la prima soluzione, molto piu' conveniente vista la disponibilitá sia di idrogeno che di biossido di carbonio.
Il processo EMx™, commercializzato da EmeraChem™, é l'ultima evoluzione della tecnologia SCONOx™ in quanto permette di abbattere simultaneamente inquinanti come NO_x, SO_x, CO, VOC e particolato solido. Il reattore catalitico, che può operare sino a 650 ℃, è costituito da moduli a nido d'ape di materiale ceramico che hanno un numero di canali per pollice quadrato variabile da 200 a 400. Il catalizzatore di ossidazionee gli strati del sorbente sono depositati sulle pareti dei canali.

Figura n. 71 – Sistema EMx™

La manutenzione del reattore catalitico prevede un lavaggio con acqua demineralizzata da effettuare una volta l'anno oppure dopo 8000 ore di funzionamento.
La limitazione principale di questi due sistemi è dovuta a problemi di affidabilità meccanica delle serrande e delle tenute quando il valore della temperatura di lavoro varia da 316 a 370 ℃.
La tenuta meccanica tende infatti a flettersi e a rilassarsi all'aumentare del numero dei cicli di lavoro. Da queste considerazioni emerge chiaramente che le tecnologie SCONOx e EMx non hanno ancora raggiunto la maturità industriale richiesta per la loro applicazione agli impianti di grande dimensione. Per la taglia di turbine utilizzate dal Sistema Integrato, il fornitore garantisce le seguenti prestazioni di abbattimento.

Inquinante	*Prestazione garantita*
NO_x	*< 1,5 ppm*
CO	*< 1,0 ppm*
VOC	*< 1,0 ppm*
S	*> 95%*
PM	*> 30%*
NH_3	*0*

Tabella n. 42 – Prestazioni di abbattimento garantite del sistema EMx™

Nelle due figure seguenti si riportano le prestazioni di abbattimento in funzione della temperatura di ingresso dei fumi.

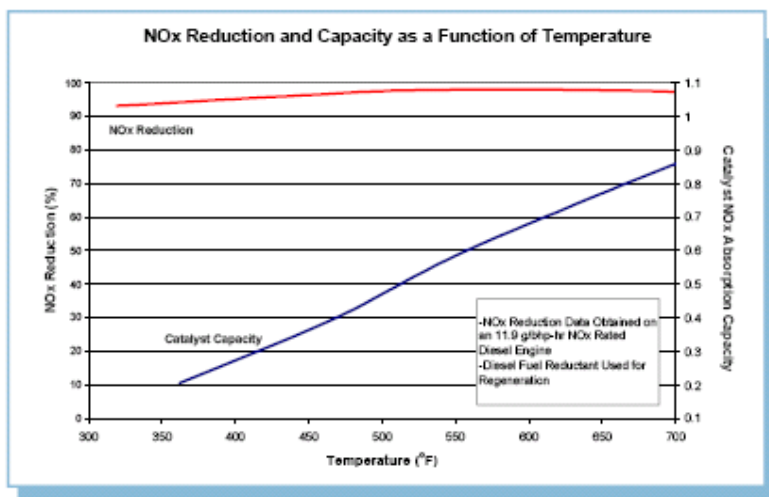



Figura n. 72 – Capacitá di abbattimento del sistema EMx™ in funzione della temperatura

Nella figura seguente sono riportate le immagine relative a diverse installazioni del sistema EMx™.

Figura n. 73 – Installazioni del sistema EMx™[102]

[102] EmeraChem - *Marchio registrato*

Le diverse prestazioni dei sistemi SCR rispetto al sistema EMx™ sono riportate nella seguente tabella comparativa.

	SCR	EMx™
Richiesta di sistemi addizionali di catalisi per abbattere CO e VOC	Si (*SCR abbatte solo NO_x*)	No
Emissioni di NOX (*con 15-25 ppm di NOx in ingresso*)	2 – 5 ppm	< 2 ppm
Emissione di NH_3 (*con 15-25 ppm di NOx in ingresso*)	3 – 6 ppm	0 (*non si usa ammoniaca*)
Emissioni di NOX (*con < 10 ppm di NOx in ingresso*)	3 – 6 ppm	0,5 – 1,5 ppm
Emissione di NH_3 (*con < 10 ppm di NOx in ingresso*)	2 – 10 ppm	0
Richiesta di sistemi addizionali di catalisi (*con < 10 ppm di NOx in ingresso*)	Si	No
Polveri fini (PM_{10})	SCR produce PM_{10}	EMx™ riduce PM_{10}
Smaltimento dei catalizzatori esauriti	Rifiuto solido pericoloso	Rifiuto solido non pericoloso (*si recupera il platino*)

Tabella n.43 - Confronto di prestazioni fra i sistemi di abbattimento[103]

Le prestazioni dei sistemi EMx™, riportate nella tabella seguente, dimostrano l'efficienza del processo di abbattimento.

Turbina e combustibile	*Impianto*	*Locazione*	*Data di attivitá*	*Emissione di NO_x*
5 MW Solar Taurus 60 Gas naturale o olio a basso contenuto di zolfo	*Wyeth BioPharma (unitá 2)*	*Andover, MA*	*Settembre 2003*	*0,3 ppm (gas) 1,5 ppm (olio)*
5 MW Solar Taurus 60 Gas naturale o olio a basso contenuto di zolfo	*Montefiore Medical Center*	*Bronx, NY*	*Giugno 2002*	*Limite autorizzazione: 2,5 ppm (gas) 15 ppm (olio)*
45 MW Alstom GTX100 Gas naturale	*Redding Electric municipal plant*	*Redding, CA*	*Giugno 2002*	*Limite autorizzazione 2 ppm (gas)*
5 MW Solar Taurus 60 Gas naturale o olio a basso contenuto di zolfo	*Wyeth BioPharma (unitá 1)*	*Andover, MA*	*1999*	*Limite autorizzazione: 2,5 ppm (gas) 15 ppm (olio)*
32 MW GE LM2500 Gas naturale	*Sunlaw Federal cogeneration facility*	*Vermon, CA*	*1996*	*Limite autorizzazione 2 ppm (gas)*

Tabella n. 44. – Installazioni del sistema EMx™[104]

[103] *"Multi-Pollutant Emission Reduction Technology For Stationary Gas Turbines and IC Engines Revision 1, January 5, 2004 Steven DeCicco, Boris Reyes and Tom Girdlestone -EmeraChem, LLC*

Concludendo l'installazione nella centrale elettrica del Sistema Integrato di questi sistemi di abbattimento garantira' un valore di emissione di NO_x inferiore a 10 mg/m^3 e di CO di 10 mg/m^3.

L'utilizzo del questo sistema di abbattimento per la centrale del Sistema Integrato determinerá un ulteriore abbassamento della concentrazione di inquinanti nelle emissioni in atmosfera, come risulta evidente nella tabella seguente.

	Unitá di misura	Gas naturale con abbattitore MEx	Miscela gas naturale-idrogeno con abbattitore MEx
CO_2	t/a	111941	68751
NOx	t/a	5.4	6.2
CO	t/a	5.4	3.3
CH_4+N_2O	t/a	1.2	0.7
SO_2	t/a	0.3	0.2
TOC	t/a	1.1	0.7
Idrocarburi reattivi	t/a	0.1	0.1
PM_{10} (filtrabile)	t/a	0.2	0.1
PM_{10} (condensabile)	t/a	0.5	0.3
PM_{10} (totale)	t/a	0.7	0.4
Metalli pesanti totali	t/a	0.05	0.03

Tabella n.45 – Confronto fra le emissioni nei due scenari (solo gas naturale e miscela gas naturale-idrogeno)

[104] *"Multi-Pollutant Emission Reduction Technology For Stationary Gas Turbines and IC Engines Revision 1, January 5, 2004 Steven DeCicco, Boris Reyes and Tom Girdlestone -EmeraChem, LLC*

CONCLUSIONI

Il progetto presenta i seguenti vantaggi per la comunitá:

1. Aumento della competitivita' delle aziende del Nucleo Industriale di Avezzano**,** dovuto alla riduzione dei costi di approvvigionamento dell'acqua, dell'energia elettrica e dello smaltimento dei rifiuti, con conseguente mantenimento dei posti di lavoro;
2. Miglioramento delle condizioni di insediamento delle aziende determinato da**:**
   - Costo dell'acqua inferiore a quello dei gestori delle reti idriche in Abruzzo;
   - Costo dell'energia elettrica inferiore a quello del G.R.T.N.;
   - Costi di smaltimento dei rifiuti industriali inferiori a quelli di mercato, essendo praticamente inesistente il costo dei viaggi necessari per il conferimento dei rifiuti;
   - Nessun nuovo investimento in impianti di trattamento delle acque di scarico (lo scarico sarebbe trattato dal *Sistema Integrato*) sia per le aziende gia' presenti che per quelle che avrebbero intenzione di insediarsi ad Avezzano e a Luco dei Marsi.
3. Riduzione dell'impatto ambientale delle attivita' industriali sul territorio:
   - Disponibilita' per uso civile di ulteriori 320 m^3/ora di acqua potabile;
   - Diminuzione delle emissioni in atmosfera di ossidi di azoto e monossido di carbonio.
4. Riduzione dei costi per gli enti pubblici interessati all'iniziativa:
   - Costi dell'energia elettrica ridotti per l'A.T.O. ed i Comuni di Avezzano e di Luco dei Marsi;
   - Costi ridotti di smaltimento dei fanghi e del percolato di discarica.
5. Consistente incremento di nuovi posti di lavoro (circa 120 unita' lavorative).
6. Nascita di nuove attivita' nel settore agroindustriale con la realizzazione delle serre e dei magazzini frigoriferi.